

표고버섯좀나방에 대한 곤충병원성 선충의 병원성 검정

김형환* · 김동환 · 조명래 · 양창열 · 강택준 · 전성욱 · 송진선 · 정영학¹ · 박해웅² · 박정규¹ · 추호렬¹

국립원예특작과학원 원예특작환경과, ¹경상대학교 응용생명과학부, 농업생명과학연구원, ²세계김치연구소

Pathogenicity bioassay of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain (Nematoda: Steinernematidae) on the shiitake fungus moth, *Morphogoides moriutii* (Lepidoptera: Tineidae)

Hyeong Hwan Kim*, Dong Hwan Kim, Myung Rae Cho, Chang Yeol Yang, Taek Jun Kang, Sung Wook Jeon, Jin Sun Song, Young Hak Jung¹, Hae Woong Park², Chung Gyoo Park¹ and Ho Yul Choo¹

Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-440, Republic of Korea

¹Division of Applied Life Science (BK21+)/Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 660-701, Republic of Korea

²World Institute of Kimchi, An Annex of Korea Food Research Institute, Gwangju 503-360, Republic of Korea

ABSTRACT: Pathogenicity of *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain was evaluated against *Morphogoides moriutii* larvae. In Petri-dish tests, insect mortality by the nematode was dose dependent, which increased with dose from 5 to 160 infective juveniles(IJs)/larva. Pathogenicity against fourth-instar larvae was higher than the rate of corresponding second- and third-instar larvae, showing 100% insect mortality with the dose of 40 IJs/4th instar larva and 80 IJs/2nd or 3rd instar larvae. Lethal concentration values at 50% (LC₅₀) of *S. carpocapsae* GSN1 strain were 4.2 IJs/2nd instar larva; 8.5 IJs/3rd instar larva; and 2.3 IJs/4th instar larva, respectively. The number of nematodes established in *M. moriutii* larvae after infection increased in the increment of dose and insect developmental stage. The highest number of nematodes was harvested from fourth instar larvae of *M. moriutii* at a dose of 160 IJs per larva, showing 22.5 nematodes per insect larva. Nematode reproductive capacity was related to insect developmental stage, showing 6,335 IJs/2nd instar larva, 21,660 IJs/3rd instar larvae, and 88,700 IJs/4th instar larvae.

KEYWORDS: *Morphogoides moriutii*, mortality, Pathogenicity, Shiitake, *Steinernema carpocapsae*

서론

원목 및 배지재배 표고버섯에서 발생하여 피해를 주는 해충은 버섯파리(*Lycoriella* spp.), 응애(*Histioglyphus feroniarum*), 털두꺼비하늘소(*Moechotypa diphyssis*)가 알려져 있으나(Hyssey, 1972; Kim and Hwang, 1996), 최근에는 나비목(Lepidoptera) 곡식좀나방과(Tineidae) 표고버섯좀나방(*Morphogoides moriutii*)에 의한 피해도 증가하고 있다. 표고버섯좀나방은 유충이 골목이나 종균, 자실체를 직접 가해하여 생산량 감소나 상품성을 저하시키는 피해를 주고 있다(Osada *et al.*, 2013).

표고버섯좀나방은 표고버섯 재배지에서 발생과 피해에 대한 연구가 미흡한 해충으로 성충은 5~7월에 발생하고, 그늘진 곳이나 약간 어둡고 습한 장소를 좋아한다

J. Mushrooms 2014 December, 12(4):357-362
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2014.12.4.357>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author

E-mail : hhkim8753@korea.kr

Tel : +82-31-290-6227, Fax : +82-31-290-6259

Received October 30, 2014

Revised December 26, 2014

Accepted December 31, 2014

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(www.fmrc.or.kr). 이러한 생활습성 때문에 느타리, 양송이버섯 보다는 차광망을 사용하는 원목 및 톱밥배지 표고버섯에서 발생과 피해가 많다. 피해는 버섯목의 나무표피 표면의 갈라진 틈이나 종균 구멍 근처에 산란을 하고 유충은 표고균사가 만연한 부분, 특히 종균구멍을 우선적으로 가해하고 성장하며 내부로 먹어 들어가기 때문에 버섯이 발생하기 어려우며 생산량이 감소하게 된다(Osada *et al.*, 2013). 또한 표고버섯좁나방은 느타리, 양송이버섯에서는 전혀 문제가 되지 않지만, 표고버섯 재배지에서는 최근 들어 피해가 늘어나고 있으나, 발생, 피해 및 방제에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 특히 원목재배 표고버섯에서도 피해가 많지만, 근래 재배면적이 늘어나고 있는 톱밥배지 표고버섯 재배지에서 더욱더 피해가 많다.

표고버섯의 해충에 대한 방제는 느타리, 양송이버섯과 함께 유기인계인 diazinon과 chlorpyrifos, 카바메이트계인 carbofuran, IGR계인 diflubenzuron, methoprene 등을 이용하고 있으나(Kalberer and Vogel, 1977; Kim *et al.*, 2001), 다른 해충 보다 사용가능한 살충제의 종류나 사용시기 및 회수에 있어 제약이 많아 만족할 만한 방제효과를 거두기가 어려운 것이 현실이다. 또한 방제 대상은 대부분 버섯파리에 등록된 약제들 뿐이며, 표고버섯에 최근 피해가 많은 털두꺼비하늘소, 표고버섯좁나방과 같은 해충에는 등록된 약제조차 없어 농가에서는 이들 해충에 대한 피해가 나타나도 방제를 적절하게 할 수 없어 피해를 지켜볼 수 밖에 없다. 따라서 표고버섯을 재배하는 일년 내내 안정적으로 표고버섯좁나방을 친환경적으로 방제할 수 있는 방제 수단이 필요한데 이를 만족시키는 것이 국내 토양에서 탐색되고 나방류, 잎벌레, 파리류 해충에 방제효과가 우수한 방제제가 곤충병원성 선충이다(Kim *et al.*, 2003; Thomson, 1992).

곤충병원성 선충은 전 세계적으로 광범위하게 분포하고 있는 생물적 방제제로 넓은 기주범위, 높은 병원성, 빠른 기주 치사력을 가지면서 증식이 용이하고, 인축이나 유용동물에는 안전 할 뿐만 아니라 화학 살충제와도 혼용이 가능한 장점이 있다(Georgis, 1990; Hara and Kaya, 1983; Kaya and Gaugler, 1993). 현재 세계적으로 *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae*, *S. glaseri*, *S. kushidai*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *H. heliothis*, *H. megidis* 등 7종의 곤충병원성 선충이 상업화 되어 채소, 화훼, 수도 및 산림해충 방제에 널리 이용되고 있으며(Thomson, 1992), 국내에서도 *S. carpocapsae*, *S. galseri*, *S. longicaudum*, *S. monticolum*, *H. bacteriophora* (Choo *et al.*, 1995), *H. megidis* (Kang, 2003) 등 6종의 병원성이 우수한 종들이 탐색되어 그 중에서 *S. carpocapsae* GSN1 계통만이 상업화 되어 이용되고 있다. 특히 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 국내에서 탐색된 곤충병원성 선충 중에서도 표고버섯좁나방과 같이 나비목 해충에 우수한 살충력을 지닌 선충이다(Choo *et al.*, 1998). *S. carpocapsae*는

세계적으로 75과 250여종의 기주곤충에 기생할 만큼 기주범위가 광범위한 선충으로(Poinar, 1979), 최근까지 수도, 채소, 화훼, 과수 및 수목류를 가해하는 39종의 나비목 해충에 병원성을 보였다고 보고하였다(Kim *et al.*, 2003).

따라서 본 연구에서는 국내 원목 및 톱밥재배 표고버섯 재배지에 발생하여 버섯의 생육, 상품성 및 수확량에 악영향을 미치는 표고버섯좁나방에 대한 생물적 방제제로 국내 토양에서 탐색된 곤충병원성 선충, *S. carpocapsae* GSN1 계통의 활용 가능성을 알아보기 위하여 실내에서 표고버섯좁나방의 유충 령기에 따른 곤충병원성 선충의 치사력, 침입수 및 증식수를 조사하여 생물적 방제의 기초 자료로 활용하고자 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

표고버섯좁나방

본 시험에 사용된 해충인 표고버섯좁나방(*Morphogoides moriutii*)은 실내 사육이 어려워 천안시 동면과 풍세면의 원목재배 표고버섯 재배농가와 부여군 규암면, 은산면, 청원군 미원면 등 톱밥배지 재배농가에서 5월~10월에 유충을 채집하여 실내 병원성 시험에 이용하였다. 채집한 유충들은 실험실로 가져와 기생봉과 기타 병원성 미생물에 자연기생 혹은 감염된 유충을 실험에서 배제하기 위하여 표고버섯좁나방은 톱밥배지가 5개 들어있는 곤충사육상자(30×30×28.5 cm)에 각각 50마리씩의 유충을 나누어 넣고, 5일 동안 사육한 후 활력이 좋은 유충만을 실험에 이용하였다. 또한 유충을 채집한 농가들은 모두 무농약이나 유기농으로 표고버섯을 재배하고 있던 농가들이었다.

곤충병원성 선충

표고버섯좁나방에 대한 병원성, 침입수 및 증식수를 알아보기 위하여 시험에 이용한 곤충병원성 선충, *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 유충을 미끼로 하여 Bedding and Akhurst (1975)의 방법으로 국내 토양에서 분리하였다. 그리고 토양에서 1차 분리된 선충은 다시 꿀벌부채명나방 노숙 유충에서 Dutky *et al.*(1964)의 방법으로 대량 증식하였다. 증식한 선충은 White trap을 이용하여 수확한 후, 약 10,000마리/ml 농도로 500 ml 용량의 조직배양 용기에 50 ml씩 넣어 10°C 냉장고에 보관하였다. 실험에는 수확한지 21일 이내의 선충을 이용하였다(Kaya and Stock, 1997).

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 병원성 검정

곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 표고버섯좁나방 유충 한 마리당 접종농도에 따른 표고버섯좁나방 유충의 치사율을 조사하기 위하여 55×15 mm 플라스틱

틱 petri dish에 여과지 2장을 깔고 선충 침입태 유충(3령충)을 0.5 ml에 각각 5, 10, 20, 40, 80, 160마리 농도로 골고루 접종하였다. 그리고 표고버섯좀나방 유충을 한 마리씩 각각 petri dish에 넣었다. 모든 처리가 끝난 petri dish는 수분 증발을 방지하기 위하여 랩으로 싸고, 산소공급을 위하여 4~5개의 구멍을 뚫은 다음 23±2°C의 항온기에 보관하였다. 무처리는 살균수만 0.5 ml을 처리하였으며 실험은 10개의 petri dish를 한 반복으로 하여 3반복으로 수행하였다. 선충 처리 후 7일째까지 24시간 간격으로 표고버섯좀나방 유충의 치사유무를 조사하였다.

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 침입수 조사

접종농도에 따른 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 병원성 검정과 별개로 시험을 수행하였다. 시험방법은 동일하게 수행되었지만, 선충을 접종농도별로 접종한 후 죽은 지 3일 되는 표고버섯좀나방 유충 10마리씩을 임의로 선택하였다. 그리고 에칠알콜로 표면에 부착된 선충을 제거한 뒤, 다시 살균수로 유충 표면을 2~3회 세척하였다. 표면세척 후 40배의 해부현미경하에서 치사된 유충을 해부하여 유충체내에 침입하여 살아있는 선충의 수를 조사하였다.

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 증식수 조사

S. carpocapsae GSN1 계통의 병원성 실험과 동일한 조건에서 치사된 표고버섯좀나방 유충을 7일 후 임의로 10마리를 선택하여 White trap을 설치하였다. White trap은 100×15 mm 크기의 petri dish에 55×15 mm 크기의 petri dish 뚜껑을 그대로 넣고 55 mm 여과지(Whatman No. 2)를 사다리꼴 모양으로 양쪽을 자른 후 반쯤 걸쳐 놓은 다음 피펫을 이용하여 살균수 8 ml를 넣었다. 그리고는 치사된 표고버섯좀나방 유충 한 마리를 여과지 위에 걸쳐 놓았다. 처리가 끝난 White trap은 25°C 항온기에 보관하면서 7일 후 충체를 해부하여 증식된 선충과 White trap으로 탈출한 선충의 수를 해부현미경하에서 조사하였다(Kim et al., 2007).

통계분석

표고버섯좀나방 유충에 대한 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 병원성은 접종농도별로 치사율을 구하여 Tukey's HSD test로 처리평균간 유의성 차이를 검정 하였으며, 반수치사농도(LC50)은 probit 분석하였다(Cho, 1996). 또한 GSN1 strain의 침입수와 증식수도 Tukey's HSD test로 처리평균간 유의성 차이를 검정하였다. 모든 유의성 검정은 p=0.05에서 검정하였으며 결과는 평균±표준편차로 표기하였다.

결과 및 고찰

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 병원성

Table 1. Lethal concentration at 50 (LC₅₀) and 90 (LC₉₀) with 95% fiducial limits for the infective juveniles (Ijs) of *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain against *Morophagoides moriutii* in petri dish

Lethal concentration at	Lethal concentration (95% fiducial limits) (Ijs/larva)*		
	2nd instar	3rd instar	4th instar
50	4.2(1.6-6.9)	8.5(5.3-11.9)	2.3(0.3-4.3)
90	38.7(24.0-102.0)	54.0(35.0-117.1)	11.7(7.6-24.1)

*LC₅₀ and LC₉₀ were expressed as number of infective juveniles per larva. Mortality was checked everyday for 7 days after nematode inoculation.

곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통을 표고버섯좀나방 령기에 따라 농도별로 접종한 후 치사율을 알아본 결과 접종농도에 따라 치사율은 유의적으로 차이가 있었으며, 접종농도가 많아질수록 치사율은 높게 나타났다. 표고버섯좀나방 유충의 령기별에 따른 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 반수치사농도(LC₅₀)는 2령충에서 4.2마리, 3령충에서 8.5마리, 4령충에서 2.3마리였고, 90%(LC₉₀) 치사농도는 각각 38.7마리, 54.0마리 및 11.7마리였다(Table 1). 표고버섯좀나방 2령 유충 한 마리당 선충 감염태 유충(3령충)을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리를 접종했을 때 7일 후 치사율은 각각 63.3%, 66.7%, 73.3%, 90.0%, 100.0% 및 100.0%였다. 곤충병원성 선충 감염태 유충을 5, 10, 20, 40, 80, 160마리를 접종했을 때 표고버섯좀나방 3령충 유충의 치사율은 각각 43.3%, 53.3%, 63.3%, 80.0%, 100.0% 및 100.0%를 나타내었고, 표고버섯좀나방 4령충 유충의 치사율은 각각 76.7%, 86.7%, 90.0%, 100.0% 및 100.0%를 나타내었다(Fig. 1).

실험에 이용한 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 표고버섯좀나방 유충의 령기에 대한 병원성은 비교적 높았다. 표고버섯좀나방 유충에 대한 LC₅₀은 2령충에서는 4.2마리, 3령충에서는 8.5마리로 증가 하였으나 4령충에서는 2.3마리로 감소하였다. 이는 앞벌류의 경우 유충이 노숙화 될수록 더 감수적 이었으며(Yang et al., 2007), 배추좀나방 역시 2령충 보다는 4령충에서 감수성이 증가한 결과와 일치하였다(Kim et al., 2006b). 하지만 이와 반대로 담배거세미나방, 파밤나방에서는 노숙화 될수록 반수치사농도가 높아져 감수성이 줄어드는 결과를 나타내었다(Kim et al., 2006a; Kim et al., 2008). 이러한 기준곤충의 령기에 따라 곤충병원성 선충의 병원성은 다양하게 나타나는데 유충이 노숙화 될수록 자체 면역력이 증가되어 감수성이 감소하는 경우와 섭식량 증가, 자연개구 즉, 입, 숨구멍, 항문, 체절과 체절 사이 등 물리적 침입 공간이 많아져 감수성이 증가 될 수 있다(Fuxa et al., 1988). 표고버섯좀나방에서 어린 유충보다 노숙 유충에서

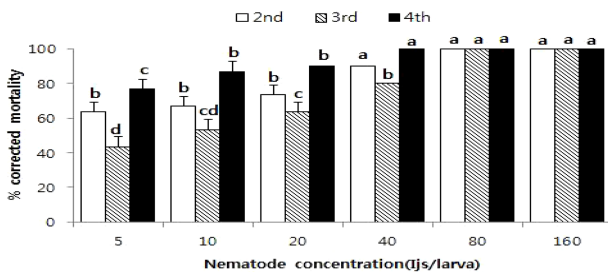


Fig. 1. Mortality of *Morophagoides moriutii* larva by *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain in petri dish. Data are expressed as mean±SE. The same letters above bars are significantly different by Tukey's HSD test (P<0.5).

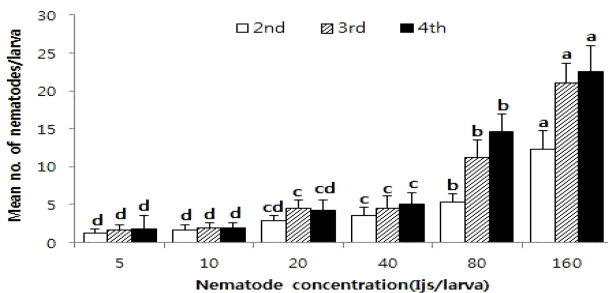


Fig. 2. Effect of nematode concentration on the mean number of penetration of infective juveniles (Ijs) of *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain against *Morophagoides moriutii* in petri dish. Data are expressed as mean±SE. The same letters above bars are significantly different by Tukey's HSD test (P<0.5).

병원성이 높았던 것은 령기에 따른 유충의 크기와 표피의 두께 차이가 담배거세미나방이나 파밤나방과 달리 크지 않고, 자연개구구와 같은 물리적 침입 공간이 많았기 때문으로 생각된다. 표고버섯좀나방 4령충의 반수치사농도는 2.3마리로 배추좀나방과 유사하였고(Kang *et al.*, 2004), 보편적으로 채소류에 발생하여 피해를 주는 담배거세미나방, 파밤나방 보다는 병원성이 높은 편이었다(Kim *et al.*, 2006b). 따라서 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 표고버섯좀나방 방제에 활용하는 것은 실용성이 있을 것으로 생각된다.

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 침입수

표고버섯좀나방 유충의 령기별에 따른 곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 체내로의 침입수는 접종농도가 많아짐에 따라 증가하였다. 표고버섯좀나방 2령 유충 한 마리에 감염태 선충을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리로 접종한 결과 1.3, 1.7, 2.9, 3.6, 5.3 및 12.3마리의 선충이 침입하였다(Fig. 2). 표고버섯좀나방 3령 유충 한 마리에 감염태 선충을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리로 접종한 결과 침입수는 1.7, 1.9, 4.6, 4.5, 11.2 및 21.1마리였고, 표고버섯좀나방 4령 유충의 침입수는 1.8, 1.9, 4.3,

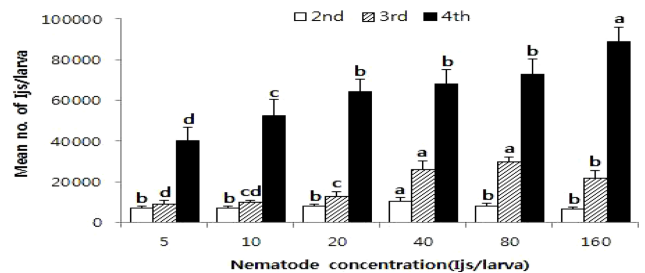


Fig. 3. Effect of nematode concentration on the progeny of *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain against *Morophagoides moriutii* in petri dish. Data are expressed as mean±SE. The same letters above bars are significantly different by Tukey's HSD test (P<0.5).

5.1, 14.6 및 22.5마리였다.

S. carpocapsae GSN1 계통의 표고버섯좀나방 유충의 령기에 따른 침입수를 조사한 결과 저농도인 5, 10, 20마리 농도에서는 표고버섯좀나방 유충의 령기별에 따라 침입한 선충의 수가 차이를 보이지 않다가 고농도인 80, 160마리 농도에서는 침입한 선충의 수가 급격히 증가하는 양상을 나타내었다. *S. carpocapsae* GSN1 계통은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)에서도 같은 양상을 보이는데(Glazer and Navon, 1990) 이는 병원성과 기주내 선충의 침입 간에는 어떠한 상관관계가 없기 때문인 것으로 생각된다. 왜냐하면 기주내 선충의 침입수가 적고 많음에 상관없이 선충이 한 마리라도 기주체내에 침입하게 되면 기주가 치사되기 때문이다. 꿀벌부채명나방 5령 유충 한 마리에 감염태 선충을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리로 접종한 결과 침입수는 1.4, 2.1, 3.9, 6.7, 16.3 및 34.2마리로 나타났는데(Choo *et al.*, 2002), 표고버섯좀나방의 4령 충과 비교했을 때 유사한 침입수를 나타내었다.

곤충병원성 선충의 접종농도에 따른 증식수

곤충병원성 선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 표고버섯좀나방 유충의 체내에 침입하여 증식된 수는 접종밀도가 증가할수록 많아지는 경향을 보였다. 증식수는 표고버섯좀나방 2령 유충 한 마리에 감염태 선충을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리로 접종한 결과, 6,900, 7,095, 7,940, 10,180, 7,910 및 6,335마리였다(Fig. 3). 표고버섯좀나방 3령 유충 한 마리에 감염태 선충을 5, 10, 20, 40, 80 및 160마리로 접종한 결과 증식수는 8,900, 9,745, 12,785, 25,950, 29,715 및 21,660마리였고, 표고버섯좀나방 4령 유충의 증식수는 40,050, 52,570, 64,135, 67,875, 72,650 및 88,700마리였다. 꿀벌부채명나방 5령충에 대한 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 증식수가 25°C에서 160마리 접종 농도에서 16만 마리 내외(Choo *et al.*, 2002)임을 감안할 때 표고버섯좀나방 유충에서의 증식수는 8.8만 마리로 2배정도 적었다. 기주에 정착한 선충이 12마리 정도 적은 것을 감안하면 증식수에서 많은 차이를 보이지 않아 표고버섯좀나

방 유충 또한 곤충병원성 선충의 우수한 기주인 것으로 생각된다.

현재 표고버섯의 해충에 대한 방제는 화학 살충제에 의존하고 있고 사용시기 및 횟수에 있어 제약이 많아 방제에 어려움을 겪고 있다. 따라서 표고버섯 재배 전 기간 동안 안전하게 표고버섯좀나방을 방제할 수 있는 곤충병원성 선충과 같은 생물적 방제제의 연구와 개발은 절실하다고 할 수 있다. 곤충병원성 선충은 표고버섯좀나방에 병원성, 침입수 및 증식수에 있어 효과적인 것으로 나타났지만, 선충이 작물체에 살포된 이후에 자외선과 건조에 약한 단점이 있어 이용에 제약이 있을 수 있다. 그러나 다행히 표고버섯이 대부분 차광망으로 자외선을 차단한 상태로 재배되고 있으며, 재배기간 대부분이 표고버섯좀나방이 선호하는 환경인 그늘지고, 약간 어두우며 습한 상태에서 재배되고 있어 곤충병원성 선충을 이용함에 있어 효과적이라 할 수 있다. 이러한 모든 결과를 종합하면 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 표고버섯좀나방에 대하여 병원성과 증식량이 우수하고 이용 시 환경상에 제약이 없으므로 생물적 방제 인자로 활용되어 질 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

표고버섯좀나방(*Morphogoides moriutii*)은 최근 버섯에 심각한 피해를 주는 해충으로 유충이 골목이나 종균, 자실체를 직접 가해하여 생산량을 감소시키고 상품성을 저하 시킨다. 표고버섯좀나방의 환경 친화적 방제에 이용 할 수 있는 가능성을 알아보기 위하여 국내 토양에서 탐색된 토착 곤충병원성 선충 *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통의 접종 농도별 병원성, 침입수, 증식수를 표고버섯좀나방의 령기에 따라 조사하였다. 선충의 표고버섯좀나방에 대한 병원성은 접종농도가 높을수록 증가하였다. 표고버섯좀나방 2령충, 3령충에서 유충 한 마리당 선충 감염태 유충(3령충) 80마리 접종부터 100%의 높은 병원성을 나타내었고, 표고버섯좀나방 4령충은 한 마리당 선충 감염태 유충 40마리 접종부터 100%의 치사율을 나타내었다. 선충의 표고버섯좀나방 유충 체내로의 침입수는 접종 농도와 령기가 높을수록 선충의 침입수도 증가 하였다. 선충 감염태 유충 5마리 농도 처리에서는 2령충 1.3마리, 3령충 1.7마리, 4령충 1.8마리 였으나, 160마리 농도 처리에서 2령충 12.3마리, 3령충 21.1마리, 4령충 22.5마리로 조사 되었다. 끝으로 표고버섯좀나방 유충 한 마리당 침입한 선충의 증식수는 같은 령기에서는 선충의 접종 농도가 많아질수록 증식수가 증가하였다. 또한 표고버섯좀나방의 령기에 따라 선충 증식수의 차이는 많았는데, 선충 감염태 유충 160마리 처리농도에서는 각각 표고버섯좀나방 2령충이 6,335마리, 3령충이 21,660마리, 4령충이 88,700마리로 조사되었다. 따라서 토착 곤충병원성 선

충 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 표고버섯좀나방의 생물적 방제를 위한 방제제로 활용할 가능성이 높음을 알 수 있었다.

감사의 말씀

이 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 수행된 기관과유사업(과제번호: PJ907036032014)의 지원에 의해서 시행한 연구 결과임

References

- Bedding R.A, Akhurst R.J. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematol.* 21:109-110.
- Cho I.H. 1996. Practice and application of SAS (ed). Sungandang. Seoul. 665pp.
- Choo H.Y, Kaya H.K, Stock S.P. 1995. Isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from Korea. *Jpn. J. Nematol.* 25:44-51.
- Choo H.Y, Kaya H.K, Lee S.M, Kim H.H, Lee D.W. 1998. Biocontrol research with nematodes against insect pests in Korea. *Jap. J. Nematol.* 28:29-41.
- Choo H.Y, Lee D.W, Yoon H.S, Lee S.M, Hang D.T. 2002. Effects on temperature and nematode concentration on pathogenicity and reproduction of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Pochen strain (Nematoda:Steinernematidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 41:269-277.
- Dutky S.R, Thompson J.V, Cantwell G.E. 1964. A technique for the mass propagation of the Dd-136 nematode. *J. Insect Pathol.* 6:417-422.
- Fuxa J.R, Richter A.R, Agudelo-Silva F. 1988. Effect of host age and nematode strain on susceptibility of *Spodoptera frugiperda* to *Steinernema feltiae*. *J. Nematol.* 20:91-95.
- Georgis R. 1990. Commercialization of steinernematidae and heterorhabditidae entomopathogenic nematodes. *Brighton Crop Prot. Conf. Insectic. Fungic.* 1:275-280.
- Glazer I, Navon A. 1990. Activity and persistence of entomopathogenic nematodes tested against *Heliothis armigera*(Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 83: 1795-1800
- Hara A.H, Kaya H.K. 1983. Toxicity of selected organophosphate and carbamate pesticides to infective juveniles of the entomogenous nematode *Neoaplectana carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae). *Environ. Entomol.* 12:496-501.
- Hussey N.W. 1972. Pests in perspective. Mushroom Science VIII. 183-192.
- Kalberer P, Vogel E. 1977. Control of sciarids (*Lycoriella auriphila*) in mushroom cultures (*Agaricus bisporus*) by carbofuran. *J. Pl. Dis. Prot.* 84:270-275.
- Kang S.J. 2003. Identification of an entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis megidis*, and its symbiotic bacterium, *Photorhabdus temperata* subsp. *temperata*. M.S. Thesis. Andong National University, Andong. Korea.

- Kang YJ, Lee DW, Choo HY, Lee SM, Kweon TW, Shin HK. 2004. Biological Control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) Using Entomopathogenic Nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 43:61-70.
- Kaya HK, Gaugler R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Ann. Rev. Entomol.* 38:181-206.
- Kaya HK, Stock SP. 1997. Technique in insect pathoogy, pp.281-324. In: Lacey, LA(eds.). Manual of techniques in insect pathology. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Kim HH, Choo HY, Lee DW, Jeon HY, Cho MR, Yang CY, Jang HI, Yiem MS. 2003. Host range, specificity, and virulence of *Steinernema carpocapsae* Pocheon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* Hamyang strain on 39 lepidopteran pests. *Proc. Kor. Soc. Appl. Entomol.* p.158.
- Kim DA, Kim JS, Kil MR, Youn YN, Park DS, Yu YM.. 2006a. Isolation and activity of insect pathogenic *Bacillus thuringiensis* strain from soil. *Korean J. Appl. Entomol.* 45:357-362.
- Kim HH, Cho SR, Lee DW, Jeon HY, Park CG, Choo HY. 2006b. Biological control of diamondback moth, *Plutella xylostella* with Korean isolates of entomopathogenic nematodes (Steinernematid and Heterorhabditid) in greenhouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 45:201-209.
- Kim HH, Han GY, Choo HY, Lee SM, Lee DW. 2007. Pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain (Rhabditida: Steinernematidae) against *Tebenna issikii* (Lepidoptera: Choreutidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 46:313-318.
- Kim HH, Cho SR, Choo HY, Lee SM, Jeon HY, Lee DW. 2008. Biological Control of Tobacco Cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) by Steinernematid and Heterorhabditid Entomopathogenic Nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 47:447-456.
- Kim KC, Hwang CY. 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 GH, Yoo JS, Koo CD, Lee SG, Park JD. 2001. Selection of insecticides for controlling *Lycoriella mali* in *Letinula edodes* sawdust cultivation. *Korean J. Pest. Sci.* 5:62-66.
- Osada Y, Hirowatari T, Sakai M. 2013. True identity of the shiitake fungus moth, *Morphogoides moriutii* (Lepidoptera: Tineidae). *Appl. Entomol. Zool.* 48:15-20.
- Poinar GO. Jr. 1979. Nematodes for biological control of insects. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp.227.
- Thomson WT. 1992. A worldwide guide to beneficial animals used for pest control purposes. Thmason publications. Fresno, USA. pp.92.
- Yang JY, Kim HH, Lee DW, Lee SM, Shin HC, Choo HY. 2007. Biological control of *Arge captiva*, *Arge papana*, and *Arge similis* with entomopathogenic nematodes. *Jour. Korean For. Soc.* 96:1-6.