

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea founded in 1981 and 1987, respectively.

## 잔디에서 한국산 곤충병원성선충, *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통을 이용한 검거세미나방의 생물적 방제

이동운<sup>1\*</sup> · Potter, Daniel A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 생태환경관광학부 생물응용전공, <sup>2</sup>켄터키대학교 곤충학과

### Biological Control of the Black Cutworm, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) with the Korean Entomopathogenic Nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 Strain (Rhabditida: Steinernematidae) in Turfgrasses

Dong Woon Lee<sup>1\*</sup> and Daniel A. Potter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Major of Applied Biology, School of Environmental Ecology and Tourism, Kyungpook National University, Sangju, 742-711, Republic of Korea.

<sup>2</sup>Department of Entomology, University of Kentucky, Lexington, 40546, USA.

**ABSTRACT.** The black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) is a major insect pest of economic crops including turfgrasses on golf courses. The entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain (ScG), a Korean isolate, is an effective biological control agent for soil dwelling and greenhouse insect pests in Korea. In addition, ScG is commercially produced in Korea. We conducted laboratory, greenhouse, and field trials to evaluate efficacy of ScG against black cutworms in turfgrasses. A rate of 63 infective juveniles (Ijs) per larva killed >90% of 3<sup>rd</sup> instars feeding in cups of artificial diet within 3 days. In greenhouse trials against cutworms feeding in pots of turfgrass, efficacy of ScG was higher against 4<sup>th</sup> instars than against 2<sup>nd</sup> instars (90.0 vs 81.2% mortality, respectively, at 2,000 Ijs pot<sup>-1</sup>) in perennial ryegrass, and higher against 3<sup>rd</sup> instars in creeping bentgrass, *Agrostis palustris* than in zoysiagrass, *Zoysia japonica* (96.7 vs 52.5% mortality at 100,000 Ijs m<sup>-2</sup>) in pot. The corrected mortality of 4<sup>th</sup> instar was 79.9% at the rate of 100,000 Ijs m<sup>-2</sup> in the creeping bentgrass in the field. So ScG could be used as biological control agent against black cutworm in turfgrass of golf courses.

**Key words:** *Agrotis ipsilon*, Entomopathogenic nematode, Environmental friendly control, Turfgrass insect

Received on February 16, 2015; Revised on March 12, 2015; Accepted on March 12, 2015

\*Corresponding author: Phone) +82-054-530-1212, Fax) +82-054-530-1218; E-mail) whitegrub@knu.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

검거세미나방(*Agrotis ipsilon*)은 비경제작물은 물론 다양한 경제작물에 피해를 주는 주요한 나방류 해충의 하나이다. 특히 옥수수(*Zea mays*), 목화(*Gossypium arboreum*), 담배(*Nicotiana tabacum*), 밀(*Triticum aestivum*), 채소작물 및 잔디의 파종시기와 생육기에 피해를 주고 있으며 범세계

적으로 분포하고 있다(Showers, 1997).

유충은 유식물의 뿌리나 괴경, 구근, 줄기 등을 식해하는데(Sherrod et al., 1979) 골프장에서는 퍼팅그린이나 티, 페어웨이 등지에서 잔디에 피해를 주고 있다. 검거세미나방 1, 2령충의 경우 잔디의 엽부분에 작은 식흔을 남겨 큰 피해를 유발하지 않지만 3령기 이후에는 주간에는 토양이나 덮취층에 숨어 있다 밤에 나와 잔디의 줄기나 지제부를 잘

라먹어 잔디를 고사시키기도 한다. 특히 그린의 경우 식혼으로 인한 자국이 잔디 표면의 균일성을 떨어뜨려 볼의 구름을 방해하는 피해를 유발하고 있다(Potter, 1998). 골프장에서 검거세미나방에 의한 피해는 벤투그라스(*Agrostis* spp.), 라이그라스(*Lolium* spp.), 버뮤다그라스(*Cynodon dactylon*), 오차드그라스(*Dactylis glomerata*) 등과 같은 한지형 잔디가 난지형 잔디인 들잔디(*Zoysia japonica*)와 금잔디(*Z. matrella*)에 비하여 심하게 나타나는데(Showers, 1997) 이는 잔디에 대한 선호성과 섭식량의 차이 때문이다(Hong and Williamson, 2006; Unpublished data).

우리나라에서도 검거세미나방은 중요한 나방류 해충의 하나로 1910년대부터 기록되었는데 지역에 따라 년 2-3회 발생하는 것으로 알려져 있으며(Kim et al., 1980) 골프장과 잔디재배지 모두에서 피해를 주고 있는 문제해충의 하나이다(Choo et al., 2000; Lee et al., 2014).

골프장에서 검거세미나방에 의한 잔디 피해는 심해지면서 지속적이고 반복적으로 나타나기 때문에 방제에 많은 노력을 기울이고 있다. 골프장에서는 검거세미나방을 방제하기 위하여 관행적으로 접촉 또는 소화중독제 농약을 이용하고 있는데 근래에는 잔효성이 긴 침투이행성 약제의 사용이 증가하고 있다(Potter, 1998; Shetlar and Williamson, 2012). 이러한 농약의 사용으로 인하여 토양 잔류, 지하수 오염, 저항성 유발, 야생동물에 대한 유해성 등과 같은 많은 환경문제에 대한 우려가 증가되고 있다(Zimmerman and Cranshaw, 1990). 골프장에서도 적용범위가 넓은 살충제(pyrethroid, trichlorfon, carbaryl)들의 사용은 검거세미나방이나 다른 해충의 발생을 억제하는 천적류에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Frank and Shrewsbury, 2004).

이러한 농약을 이용한 검거세미나방 방제의 부정적 측면을 극복하기 위하여 핵다각체바이러스를 이용한 미생물적 방제(Prater et al., 2006)나 포식성 곤충의 활용(Frank and Shrewsbury, 2004; Hong et al., 2011; Lüpez and Potter, 2000), 저항성 잔디(Hong and Williamson, 2006), 식물성 오일(Lee and Potter, 2013) 및 곤충병원성선충(Buhler and Gibb, 1994; Capinera et al., 1988; Ebssa and Köppenhöfer, 2011)등을 이용한 검거세미나방 방제에 관한 연구들이 수행되었다.

곤충병원성선충은 24-48시간 이내의 짧은 시간에 기주를 치사시킬 수 있는 능력과 많은 비표적 생물에 안전성이 뛰어나 토양서식 해충에 유용한 생물적 방제인자의 하나로 인식되어 사용되어 지고 있으며(Kaya and Gaugler, 1993) 우리나라에서도 다양한 해충들에 대한 생물적 방제 인자로서의 활용 가능성과 실제적 활용이 골프장과 육묘장, 시설재배지 등에서 이루어 지고 있다(Choo et al., 1988; 1995; Kang

et al., 2004; Kim et al., 2004; Lee et al., 2002; 2006a, b).

곤충병원성 선충은 종이나 계통에 따라 병원성이 상이하 다(Kondo and Ishibashi, 1986). 예를 들면, *Steinernema carpocapsae*의 경우 나방류 해충에 특히 효과가 높은 것으로 알려져 있고, 우리나라에서도 담배거세미나방(*Spodoptera litura*), 파밤나방(*S. exigua*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*), 도둑나방(*Mamestra brassicae*), 잔디밤나방(*Spodoptera depravata*), 멸강나방(*Pseudaletia separate*) 등에 우수한 방제 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Cho, 2006; Jung et al., 2013; Kang et al., 2004). 그러나 골프장 잔디에서 실제적으로 가장 큰 피해를 일으키고 있는 검거세미나방에 대한 방제효과는 검토된 바 없다. 따라서 본 연구는 한국산 *S. carpocapsae* 선충의 검거세미나방의 생물적 방제 가능성을 실내와 온실, 포장에서 조사하여 골프장에서 실제적으로 이용할 수 있는 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 꿀벌부채명나방과 검거세미나방

실험에 이용한 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)은 New York Worm (Long Island, NY, USA)에서 구입한 5령 유충을 사용하였고, 검거세미나방은 Benzon Research (Carlisle, PA, USA)에서 구입하여 사용하였다. 공급받은 검거세미나방은 4°C 냉장고에 냉장보관하면서 실험 때마다 실온에 1 시간 동안 순화시켜 사용하였다.

### 곤충병원성선충

실험에 이용한 곤충병원성선충, *S. carpocapsae* GSN1 계통은 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*) 노숙유충을 이용하여 증식시켜 사용하였는데(Dutky et al., 1964), White trap 을 이용하여 수확한 뒤 9°C 냉장고에 보관하면서 수확한 지 4주 이내의 것을 사용하였다(Woodring and Kaya, 1988).

### 검거세미나방 인공사료 배지에서 곤충병원성선충 농도별 효과

검거세미나방 공시충 확보를 위해 Benzon Research사로부터 공급받은 인공사료가 1 cm 두께로 분주되어 있는 200 cc 사육용기를 이용하여 실험을 수행하였다. 각각의 용기에 검거세미나방 3령충 10마리씩을 방사한 후, *S. carpocapsae* GSN1 계통을 63, 125, 250마리 감염태유충(infective juveniles=Ijs)을 각 용기에 가정용 분무기를 이용하여 10 ml 씩 충분히 묻도록 살포하였다. 살포 후 뚜껑을 덮고, 질식을 방지하기 위하여 메스로 1 cm 길이의 홈을 뚜껑의 네 곳에 내었다. 25°C 항온기에 보관하면서 3일 후 치사충수를 조사하였다. 하나의 용기를 1반복으로 4반복 처리하였

으며 무처리구는 멸균 증류수만 10 ml 살포하였다.

### Pot에서 검거세미나방 령기별 병원성과 pot 토양 내 곤충 병원성선충 분포

실험은 켄터키대학교 유리온실에서 수행하였는데 온실은 25°C 내외로 관리되고 있었으며 광은 자연 채광에 의존하면서 보조적으로 할로겐 전구를 이용하였다. 실험을 위하여 직경 16 cm 플라스틱 화분에 흙을 채우고, 퍼래니얼 라이그래스 ‘Palmer III’ 품종(Fayette Seed, Lexington, KY, USA)을 4 g pot<sup>-1</sup> 씩 파종하였다. 파종 후 흙으로 얇게 피복한 후, 플라스틱 tray에 넣고, tray에 2-4 cm 높이로 물을 채워 pot 내에 물이 완전히 흡수되도록 하였다. 파종 후 24일간 관리한 pot의 잔디를 지표면에서 2.5 cm 높이로 가위를 이용하여 자른 뒤 검거세미나방 2령충과 4령충을 각각 10마리씩을 방사하였다. 방사 한 시간 후 이동하지 못하는 개체는 수거한 후 다시 건강한 유충을 방사하였다. 방사 후 검거세미나방 유충의 pot 밖으로의 탈출을 막기 위하여 pot 위 3 cm 부분을 바셀린으로 도포하였다. 이후 가정용 스프레이를 이용하여 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 500, 1000, 2000 Ijs 농도로 40 ml씩 살포(각각 m<sup>2</sup>당 25,000, 50,000, 100,000 Ijs 곤충병원성선충을 2 L 물량 수준처리)하였는데 햇볕에 의한 건조와 자외선 피해를 막기 위하여 오후 6시에서 7시 사이에 처리하였다. 무처리구는 증류수만 처리하였고, 7일 후에 생충수를 조사하였다. 곤충병원성선충 처리 후 전체 pot에 mist 분무기를 이용하여 1분간 관수하였으며 매일 동일한 방법으로 관수하였다.

병원성 조사 후 4령충 처리 pot에서 잔디와 흙을 조심스럽게 들어내어 검거세미나방 유충이 서식하는 잔디 지재부 0-3 cm 이내의 토양과 그 아래쪽 3-6 cm 토양 부분을 구분하여 칼로 자른 뒤 237 ml 플라스틱 통(Solo, Lake Forest, IL, USA)에 잘 부수어 각각을 담은 후 꿀벌부채명나방 5령충을 10마리씩 투입하였다. 뚜껑부분에 핀셋으로 세 곳에 구멍을 내고, 25°C 항온기에 7일간 보관 후 선충 감염여부를 조사하였다. 한 개의 pot를 한 반복으로 4반복 처리하였다.

### 들잔디와 벤투그라스에서 잔디 초종별 검거세미나방에 대한 곤충병원성선충의 병원성과 토양 내 선충 분포

잔디 초종별에 따른 곤충병원성선충의 병원성 차이를 알아보기 위하여 들잔디(*Zoysia japonica*)와 크리핑 벤투그라스(*Agrostis stolonifera*) ‘Penncross’를 이용하였는데 각각의 잔디는 켄터키대학교의 Spindletop Research Farm에서 자라고 있는 것을 직경 15 cm hole cutter로 떠 내어 직경 22 cm 플라스틱 화분에 이식하였다. 1일 후 검거세미나방 2령충 10마리씩을 방사하고, 탈출을 막기 위하여 pot 위 3 cm 부분을 바셀린으로 도포하였다. 여기에 가정용 스프레이를

이용하여 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 1770 Ijs 농도(10만 마리 m<sup>-2</sup>)로 35.4 ml (2 L m<sup>-2</sup> 기준) 살포하였다. 무처리구는 물만 처리하였고, 조사는 6일 후에 생충수를 조사하였다.

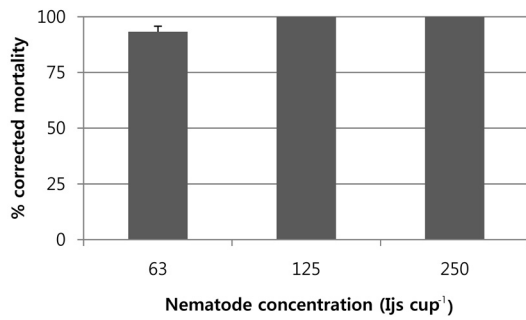
병원성 조사 후 각 pot에서 검거세미나방 령기별 병원성과 pot 토양 내 곤충병원성선충 분포 조사 때와 동일한 방법으로 토양 내 선충분포를 조사하였다. 잔디와 흙을 조심스럽게 들어내어 잔디 지재부 3 cm 이내의 토양과 그 아래쪽 3 cm 토양 부분을 구분하여 칼로 자른 뒤 237 ml 플라스틱 통(Solo, Lake Forest, IL, USA)에 잘 부수어 각각을 담은 후 꿀벌부채명나방 5령충을 10마리씩 투입하였다. 뚜껑부분에 핀셋으로 세 곳에 구멍을 내고, 25°C 항온기에 7일간 보관 후 선충 감염여부를 조사하였다. 한 개의 pot를 한 반복으로 4반복 처리하였다. 들잔디 재배지 토양은 pH 4.49, 유기물 5.45%, sand: silt: clay 비는 14.25: 70.59: 15.17로 식양토였고, 크리핑 벤투그라스 재배지 토양은 pH 4.92, 유기물 6.21%, sand:silt:clay 비는 20.26:66.99:12.76으로 식양토였다.

### 야외실험

실험은 켄터키대학교의 Spindletop Research Farm에서 2012년 8월 16일과 8월 20일 두 차례 수행하였다. 첫 번째 실험은 8월 16일 크리핑 벤투그라스포장에 1 m<sup>2</sup> 크기의 시험구를 난괴법 4반복으로 설정하였다. 각 시험구의 중앙에 직경 38 cm, 높이 15 cm 크기의 양철 링을 5 cm 깊이로 박은 다음, 검거세미나방 3령충 처리구와 4령충 처리구로 나누어 각각 15마리씩 접종하였다. 접종 후 가정용 물뿌리개를 이용하여 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 10만 Ijs 농도로 2 L 관주하였고, 무처리구는 물만 2 L 처리하였다. 처리 후 양철 링의 안쪽 끝 부분을 바셀린으로 도포하여 검거세미나방이 외부로 탈출하지 못하게 하였고, 철망을 양철 링의 윗부분에 놓고, 못으로 고정하여 조류들이 검거세미나방 유충을 잡아먹지 못하게 하였다. 처리 4일 후 각 구의 양철 링에 주방세제 10 ml를 물 4 L에 희석하여 관주 한 뒤 잔디로부터 탈출해 나오는 검거세미나방 생충수를 조사하였다. 2차 실험은 동일한 장소에서 8월 20일 수행하였는데 검거세미나방 4령충을 15마리씩 방사한 뒤 *S. carpocapsae* GSN1 계통을 10만 Ijs 농도로 2 L 살포 한 후 물 2 L를 추가 살포하였다. 4반복 처리하였고, 무처리구는 물만 관주하였으며 8일 후에 생충수를 조사하였다.

### 통계처리

각각의 실험자료들 중 백분율 자료를 arcsin-root square 변환하여 Tukey test로 처리평균간 차이를 분산분석하였다(Statistix 8, 2003). 결과는 변환전의 값을 표기하였으며 평균±표준오차로 표기하였다. 방제가를 산출하기 위하여



**Fig. 1.** Mean ( $\pm$  SE) corrected mortality of 3rd instar black cutworms 3 days after being sprayed with the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain while feeding in cups of artificial diet.

Abbott (1925)의 방법으로 보정사충율을 구하였다.

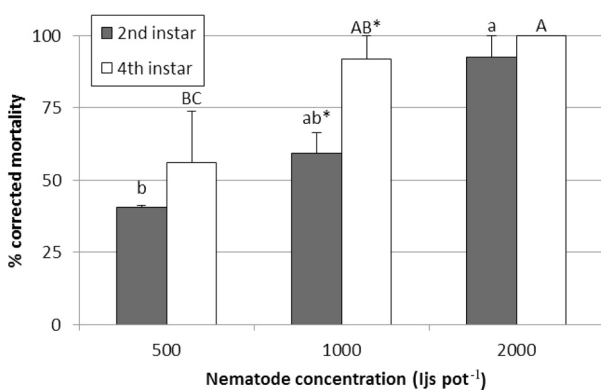
## 결 과

### 검거세미나방 인공사료 배지에서 곤충병원성선충 농도별 효과

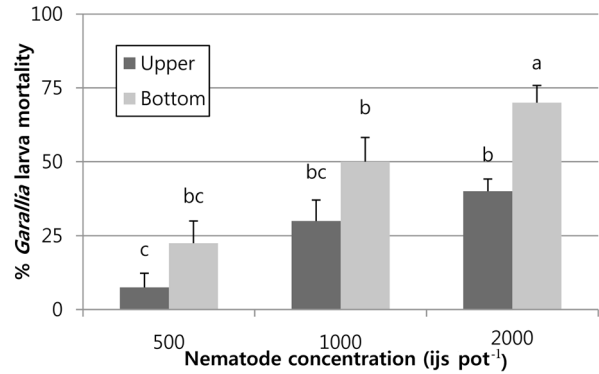
인공배지 용기 내에서 검거세미나방 3령충은 *S. carpocapsae* GSN1 계통에 대하여 높은 감수성을 보였다. 검거세미나방 유충 1마리 당 6.3 Ijs 처리에서도 85.4%의 보정사충율을 보였고, 12.5 Ijs와 25 Ijs 마리<sup>-1</sup> 처리에서는 100% 치사되었다 ( $df=3, 12, F=56.7, P < 0.0001$ ) (Fig. 1).

### Pot에서 검거세미나방 령기별 병원성과 pot 토양 내 곤충병원성선충 분포

Pot 실험에서는 검거세미나방 2령충 ( $df=3, 12, F=31.0,$



**Fig. 2.** Mean ( $\pm$  SE) corrected mortality of 2 and 4th instar black cutworms 7 days after pots of perennial ryegrass in which the larvae were feeding were sprayed with the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain in the greenhouse. Means followed by the same uppercase and lowercase letter in each instar are not significantly different by Tukey's test ( $P < 0.05$ ). \*denotes significance difference between two different instars.



**Fig. 3.** Mean ( $\pm$  SE) mortality of *Galleria* larvae put into the soil at 7 days after entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain, were applied to control 4<sup>th</sup> instar black cutworms as described in Fig. 2. *Galleria* were implanted at two depths, 0-3 cm (upper) or 3-6 cm (lower), as indicators of nematode persistence in the soil and checked for mortality after 7 days. Within instars, mean followed by the same uppercase or lowercase letter are not significantly different by Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

$P < 0.0001$ )과 4령충 ( $df=3, 12, F=15.2, P < 0.0002$ ) 모두 선충의 접종 밀도가 높을수록 병원성이 증가하였는데 2령충에 비하여 4령충의 감수성이 더 높았다 (Fig. 2).

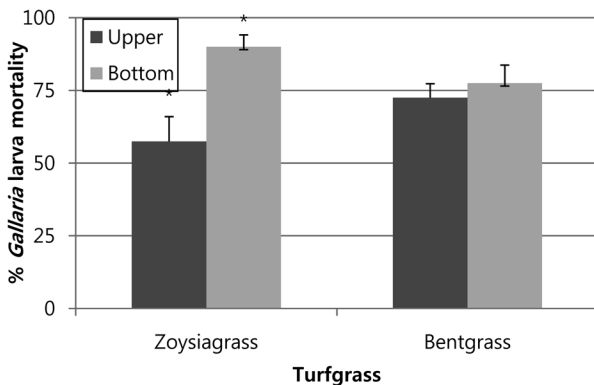
검거세미나방 4령충을 대상으로 곤충병원성선충을 처리한 pot의 지제부 부근과 아래쪽의 곤충병원성선충 분포를 조사한 결과 지제부 부근보다 토양 아래쪽에 더 많은 선충이 분포하고 있었으며 곤충병원성선충의 처리 밀도가 높을수록 꿀벌부채명나방에 대한 병원성이 높게 나타났다 ( $df=5, 18, F=11.7, P < 0.0001$ ) (Fig. 3).

### 잔디 초종별 검거세미나방에 대한 곤충병원성선충의 병원성과 토양 내 선충 분포

곤충병원성선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 들잔디에 비하여 벤트그라스에서 검거세미나방에 대한 높은 병원성을 보였다 ( $df=1, 8, F=55.4, P < 0.0001$ ). 즉 벤트그라스에서는  $96.7 \pm 2.3\%$ 의 보정사충율을 보였으나 들잔디에서는  $52.5 \pm 0.1\%$ 의 낮은 보정사충율을 보였다. 두 잔디 초종의 토양 내 곤충병원성선충의 분포는 들잔디에서는 지제부에 가까운 곳보다 먼 토양 속에 분포가 많았으나 ( $df=1, 6, F=11.8, P < 0.014$ ) 벤트그라스에서는 두 층간 차이가 없었다 (Fig. 4).

### 야외실험

야외에서 검거세미나방 3령충에 대한 *S. carpocapsae* GSN1 계통의 병원성은 70.0%의 보정사충율을 보여 4령충에 대한 보정사충율 60.0%보다 높았으나 통계적 차이는 없었다. 곤충병원성선충 처리 후 추가 관수를 한 2차 야외실험의 결



**Fig. 4.** Mean ( $\pm$  SE) mortality of *Galleria* larvae implanted into the soil of potted cores of field-grown zoysiagrass or creeping bentgrass turf at 0-3 cm (upper) and 3-6 cm (bottom) depths. The *Galleria* were put into soil 6 days after the turf was sprayed with *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain (1,770 Ijs per pot = 100,000 Ijs  $m^{-2}$ ) and checked for mortality 7 days after burial. \*denotes significant different between two different instar of black cutworm.

과 검거세미나방 4령충에 대한 보정사충율은 79.9%로 선충 처리 후 추가 관수를 하지 않은 1차 실험에 비하여 높은 효과를 보였다.

## 고 찰

한국산 곤충병원성선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통은 검거세미나방 유충에 대하여 높은 살충력을 보였다. 일반적으로 야외에서 곤충병원성선충의 충분한 해충방제 효과를 보기 위해서는 acre당 10억마리 이상을 살포하는데(Georgis, 1990; Thomson, 1992) 통상  $m^2$ 당 10만마리 이상으로 처리하고 있다. 본 실험에서는  $m^2$ 당 10만마리 이하 수준에서 검거세미나방에 대한 병원성을 평가하였는데 실내 인공사료 배지에서는  $m^2$ 당 5만마리 수준에서도 100% 치사되었고, 2만 5천마리 농도에서도 85.4%의 보정사충율을 보였다. 이는 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 파밤나방 3령충에 대해 5.0마리 반수치사농도를 보인 것이나(Kim et al., 2006) 잔디밤나방 3령충에 대한 반수치사농도 6.9마리(Kang et al., 2004)에 비하여 상대적으로 낮은 농도에서도 효과를 보인 것으로 검거세미나방이 *S. carpocapsae* GSN1 계통에 대하여 상대적으로 다른 밤나방과 해충에 비하여 감수적이었다. 또한 잔디밤나방이나 파밤나방의 경우 령기가 높아질수록 곤충병원성선충의 병원성이 떨어지는데(Kang et al., 2004; Kim et al., 2006) 반해 검거세미나방의 경우 2령충에 비하여 4령충에서 더 높은 병원성을 보였는데 이는 실험 방법 때문으로 해석된다. 전자의 두 연구의 경우 페트리디쉬에 선충을 처리한 후 기주식물을 투입하는 방법으로 실

험을 수행하였으나 본 실험에서는 pot에서 검거세미나방을 방사 후 곤충병원성선충을 살포하여 상대적으로 곤충병원성선충의 기주체 접촉 기회가 많았기 때문에 생각된다. 아울러 검거세미나방은 령기가 노숙화 될수록 섭식량이 많아지며 3령충 이후에는 낮 동안에 잔디의 지제부나 토양 속에 은둔하는 습성이 있는데(Kim et al., 1980; Hong and Williamson, 2006; Williamson and Shetlar, 1995) 이러한 습성으로 인하여 살포 된 곤충병원성선충의 접촉 기회가 많았기 때문에 생각된다.

검거세미나방에 대한 곤충병원성선충의 효과는 들잔디에 비하여 크리핑 벤트그라스에서 높게 나타났는데 이는 검거세미나방이 들잔디에 비하여 벤트그라스의 섭식량이 많아(unpublished data) 상대적으로 많은 선충이 침입할 기회가 생겼기 때문에 생각된다. 아울러 곤충병원성선충은 잎의 종류나 크기에 따라 부착 정도에 차이를 보이는데(Kim et al., 2006) 두 잔디 초종간의 엽의 형태나 밀도도 효과에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

미끼곤충인 꿀벌부채명나방 유충을 이용하여 곤충병원성선충의 토양 내 상대적 분포를 조사한 결과 라이그라스와 들잔디에서는 지제부에 가까운 얇은 토양층보다는 깊은 토양층에서 병원성이 더 높게 나타나 곤충병원성선충의 분포가 더 많은 것으로 나타났으나 벤트그라스에서는 차이가 없었다. 또한 살포 한 곤충병원성선충의 양에 비례하여 토양 내 상대적 분포량에도 차이를 보였는데 전체적으로 잔디에서 검거세미나방이나 잔디밤나방과 같은 지상부 해충 방제용으로 곤충병원성선충을 살포할 경우 토양 속에 생존하면서 굼벵이와 같은 토양 서식 해충을 동시방제할 수 있을 것으로 기대된다. Ebssa and Koppenhöfer (2011)도 검거세미나방 방제를 위하여 골프장에 곤충병원성선충 처리 시 처리시기나 골프장의 관리 위치(그린, 페어웨이, 러프)에 따라 차이는 있었으나 토양 내에서 2주후에도 많은 선충이 생존하고 있었다.

우리나라에서 검거세미나방의 1화기 발생최성기는 6월 중순으로 이 시기는 주요 잔디 해충 풍뎅이류인 녹색콩풍뎅이(*Popillia quadriguttata*)와 등얼룩풍뎅이(*Exomala orientalis*)의 성충발생시기와 겹쳐(Choo et al., 2002; Lee et al., 2007) 7월 초순 경에 검거세미나방 유충 방제를 위하여 곤충병원성선충을 사용할 경우 두 해충의 동시 방제 가능성도 있을 것으로 생각된다. 아울러 검거세미나방 2화기 발생 최성기인 8월 중순의 경우 굼벵이류의 잔디 피해가 급격히 증가되는 3령충으로 발육되는 시기로(Choo et al., 2002) 이 시기에 두 해충 동시 방제를 추진하는 것도 바람직할 것으로 생각된다.

검거세미나방에 의한 잔디피해는 난지형 잔디보다 한지형 잔디에 심하게 나타난다. 우리나라에서는 한지형 잔디

로 조성된 골프장 그린이나 티에서 피해가 더 심해 한지형 잔디에서 효과가 더 높았던 곤충병원성선충 활용성이 더 높을 것으로 생각된다. 아울러 포장실험에서는 곤충병원성선충 처리 후 추가적인 관수를 하였을 때 더 높은 방제가를 나타내 골프장에서 곤충병원성선충을 사용할 때에는 선충 처리 후 스프링클러를 이용한 추가적 관수가 필요할 것으로 생각된다.

우리나라에서 상용화되어 있는 곤충병원성선충 *S. carpocapsae* GSN1 계통이 농약에 대한 저항성이 높아지는 노숙 유충기와 토양 서식기에도 효과가 있었고, 토양 내에서도 잔존하여 골프장에서 검거세미나방 유충의 환경친화적 방제에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

검거세미나방(*Agrotis ipsilon* (Hufnagel))은 골프장의 잔디를 비롯한 많은 경제작물에 주요해충의 하나이다. 곤충병원성선충, *Steinernema carpocapsae* GSN1 계통(ScG)은 우리나라에서 분리된 것으로 시설재배 해충을 비롯한 토양서식 해충 방제에 유용한 생물적 방제인자로 우리나라에서 상업적으로 생산되고 있다. 본 연구는 검거세미나방에 대한 ScG의 병원성을 실험실과 온실, 포장에서 검정하였다. 검거세미나방 인공사료 배지에서 3령충을 대상으로 63마리 감염태 유충(Ijs)을 접종한 결과 3일후에 90%이상의 치사율을 보였다. 검거세미나방 령기와 잔디 초종별에 따른 ScG의 병원성은 검거세미나방 2령충에 비하여 4령충에서 높았고 (90.0% 대 81.2% 치사율, 2,000 Ijs pot<sup>-1</sup>), 검거세미나방 3령충에 대한 초종별 병원성은 크리핑벤트그라스(*Agrostis palustris*)에서가 들잔디(*Zoysia japonica*)에 비해서 높았다(96.7% 대 52.5% 치사율, 100,000 Ijs m<sup>-2</sup>). 크리핑벤트그라스 포장에서는 m<sup>2</sup>당 100,000 Ijs ScG처리 시 검거세미나방 4령충에 대한 보정사충율은 79.9%였다. 따라서 한국산 곤충병원성선충 ScG는 골프장 잔디에서 검거세미나방의 생물적방제 인자로 활용이 가능할 것으로 보인다.

**주요어:** 검거세미나방, 곤충병원성선충, 잔디해충, 환경친화적 방제

## Acknowledgements

We thank Redmond, C.T., Jung, Y.H. and Lee, C.M. for technical assistance. Paper no. 15-08-026 of the Kentucky Agricultural Experiment Station.

## References

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18:265-267.
- Buhler, W.G. and Gibb, T.J. 1994. Persistence of *Steinernema carpocapsae* and *S. glaseri* (Rhabditida: Steinernematidae) as measured by their control of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in bentgrass. *J. Econ. Entomol.* 87:638-642.
- Capinera, J.L., Pelissier, D.G., Menout, S. and Epsky, N.D. 1988. Control of black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *J. Invertebr. Pathol.* 52:427-435.
- Cho, S.R. 2006. Environmental friendly control of caterpillars occurring on leaf vegetable in greenhouse with entomopathogenic nematodes. PhD Diss. Gyeongsang Nat. Univ., Jinju. (In Korean)
- Choo, H.Y., Kaya, H.K. and Reed, D.K. 1988. Biological control of onion maggot and tobacco cutworm with insect-parasitic nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. *Korean J. Appl. Entomol.* 27:185-189. (In Korean)
- Choo, H.Y., Lee, D.W., Lee, S.M., Lee, T.W., Choi, W.G., et al. 2000. Turfgrass insect pests and natural enemies in golf courses. *Korean J. Appl. Entomol.* 39:171-179.
- Choo, H.Y., Lee, D.W., Park, J.W., Kaya, H.K., Smitley, D.R., et al. 2002. Life history and spatial distribution of oriental beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in golf courses in Korea. *J. Econ. Entomol.* 95:72-80
- Dutky, S.R., Thompson, J.V. and Cantwell, G.E. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. *J. Insect Pathol.* 6:417-422.
- Ebssa, L. and Koppenhöfer, A.M. 2011. Efficacy and persistence of entomopathogenic nematodes for black cutworm control in turfgrass. *Biocon. Sci. Tech.* 21(7):779-796.
- Frank, S.D. and Shrewsbury, P.M. 2004. Consumption of black cutworms, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), and alternative prey by common golf course predators. *Environ. Entomol.* 33:1681-1688.
- Georgis, R. 1990. Formulation and application technology, pp. 173-191, In: Gaugler, R. and Kaya, H.K. (Eds.). *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Hong, S.C. and Williamson, R.C. 2006. Suitability of various turfgrass species and cultivars for development and survival of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 99:850-857.

- Hong, S.C., Held, D.W. and Williamson, R.C. 2011. Generalist predators and predation of black cutworm *Agrotis ipsilon* larvae in close mown creeping bentgrass. *Fl. Entomol.* 94(3):714-715.
- Jung, Y.H., Kim, J.J., You, E.J., Lee, C.M., Choo, H.Y., et al. 2013. Evaluation of entomopathogenic nematode against armyworm, *Pseudaletia separate* on tall fescue, *Festuca arundinacea*. *Weed Turf. Sci.* 2(3):312-317. (In Korean)
- Kang, Y.J., Lee, D.W., Choo, H.Y., Lee, S.M., Kweon, T.W., et al. 2004. Biological control of *Spodoptera depravata* (Butler) (Lepidoptera: Noctuidae) using entomopathogenic nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 43:61-70. (In Korean)
- Kaya, H.K. and Gaugler, R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Ann. Rev. Entomol.* 38:181-206.
- Kim, H.H., Cho, S.R., Lee, D.W., Lee, S.M. and Choo, H.Y. 2006a. Biological control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) with entomopathogenic nematodes (Steinernematid and Heterorhabditid) in greenhouse. *Korean J. Pesticide Sci.* 10(4):335-343. (In Korean)
- Kim, H.H., Choo, H.Y., Kaya, H.K., Lee, D.W., Lee, S.M., et al. 2004. *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) as a biological control agent against the fungus gnat *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) in propagation houses. *Biocon. Sci. Technol.* 14:171-183.
- Kim, H.H., Jeon, H.Y., Cho, S.R., Lee, D.W. and Choo, H.Y. 2006b. Persistence of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* GSN1 strain on vegetable leaf in greenhouse. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 24(2):198-204. (In Korean)
- Kim, H.S., Kim, S.H. and Choi, K.M. 1980. Studies on bionomics and control of cutworms. *Korean J. Pl. Prot.* 19(4):244-250. (In Korean)
- Kondo, E. and Ishibashi, N. 1986. Infection efficacy *Steinernema feltiae* (DD-136) to the common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae), on the soil. *Appl. Ent. Zool.* 21:561-571.
- Lee, C.M., Kwon, O.G., Lee, K.S., Lee, S.M., Choi, S.H., et al. 2014. Insect pests in turf sod production areas in Korea. *Weed Turf. Sci.* 3(2):114-120. (In Korean)
- Lee, D.W. and Potter, D.A. 2013. Effect of essential oils and paraffin oil on black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). *Weed Turf. Sci.* 2(1):62-69. (In Korean)
- Lee, D.W., Choo, H.Y., Smitley, D.R., Lee, S.M., Shin, H.K., et al. 2007. Distribution and adult activity of *Popillia quadriguttata* (Coleoptera: Scarabaeidae) on golf courses in Korea. *J. Econ. Entomol.* 100:103-109.
- Lee, D.W., Choo, H.Y., Shin, O.J., Yun, J.S. and Kim, Y.S. 2002. Damage of perennial ryegrass, *Lolium perenne* by chestnut brown chafer, *Adoretus tenuimaculatus* (Coleoptera: Scarabaeidae) and biological control with Korean isolate of entomopathogenic nematodes. *Kor. J. Appl. Entomol.* 41:217-223. (In Korean)
- Lopez, R. and Potter, D.A. 2000. Ant predation on eggs and larvae of the black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) and Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in turfgrass. *Environ. Entomol.* 29:116-125.
- Merei, S.S., Amr, E.M. and salem, N.Y. 2009. Effect of some plant oils on biological, physiological and biochemical aspects of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Res. J. Agricul. Biological Sci.* 5(1):103-107.
- Potter, D.A. 1998. Destructive turfgrass insects biology, diagnosis, and control. Ann Arbor Press, Michigan, USA.
- Prater, C.A., Redmond, C.T., Barney, W., Bonning, B.C. and Potter, D.A. 2006. Microbial control of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) in turfgrass using *Agrotis ipsilon* multiple nucleopolyhedrovirus. *J. Econ. Entomol.* 99:1129-1137.
- Sherrod, D.W., Shaw, J.T. and Luckmann, W.H. 1979. Concepts on black cutworm field biology in Illinois. *Environ. Entomol.* 8(2): 191-195.
- Shetlar, D.J. and Williamson, R.C. 2012. Cutworms, pp. 28-30. In: Brandenburg, R.L. and Freeman, C.P. (Eds.). Handbook of turfgrass insects. The Entomological Society of America. Lanham, USA.
- Showers, W.B. 1997. Migratory ecology of the black cutworm. *Ann. Rev. Entomol.* 42:393-425.
- Statistix 8. 2003. User's manual. pp. 396. Analytical Software. Tallahassee, USA.
- Thomson, W.T. 1992. A worldwide guide to beneficial animals (insects, mites, nematodes) used for pest control purposes. pp. 54-65. Thomson Publications, Fresno, USA.
- Williamson, R.C. and Shetlar, D.J. 1995. Oviposition, egg location, and diel periodicity of feeding by black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) on bentgrass maintained at golf course cutting heights. *J. Econ. Entomol.* 88:1292-1295.
- Woodring, J.L. and Kaya, H.K. 1988. Steinernematidae and Heterorhabditidae nematodes: a handbook of techniques. Southern Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agri. Exp. Stn. USA.
- Zimmerman, R.J. and Cranshaw, W.S. 1990. Compatibility of three entomogenous nematodes in aqueous solution of pesticides used in turfgrass maintenance. *J. Econ. Entomol.* 83(1):97-100.