

수경재배 딸기에서 포식성 천적, 아큐레이퍼응애를 이용한 작은뿌리파리의 생물적 방제

김형환* · 윤정범 · 김동환 · 양창열 · 강택준

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

Biological Control of *Bradysia difformis* using the Predatory Mite (*Hypoaspis aculeifer*) in Hydroponically Cultivated Strawberry

Hyeong-Hwan Kim*, Jung-Beom Yoon, Dong-Hwan Kim, Chang-Yeol Yang and Taek-Jun Kang

Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

ABSTRACT: Biological control of the fungus gnat *Bradysia difformis* by the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* was examined in hydroponic systems of strawberries in Namwon and Hapcheon varieties of Jeollabuk-do and Gyeongsangbuk-do provinces, respectively, from 2012 to 2013. The damage to strawberries caused by *B. difformis* was examined in seedling stages and during cultivation periods. To achieve environment-friendly management of *B. difformis*, 60.6 individuals of *H. aculeifer* were released per square-meter three and four times during cultivations periods of the Namwon and Hapcheon strawberry varieties, respectively. *H. aculeifer* had better control efficiency against of *B. difformis* than that observed with conventional cultural practices. Wilt symptoms and damage of strawberries due to *B. difformis* were decreased by approximately 7.4-10.4%.

Key words: Strawberry, Hydroponic, *Bradysia difformis*, *Hypoaspis aculeifer*, Biological control

조 록: 2012년부터 2013년까지 2년에 걸쳐 남원과 합천의 수경재배 딸기에서 포식성 응애 아큐레이퍼응애를 배지에 방사하여 작은뿌리파리의 밀도억제 효과를 조사하였다. 수경재배 딸기에서 아큐레이퍼응애를 m² 당 60.6마리를 3회~4회 방사한 결과 아큐레이퍼응애 방사구에서는 작은 뿌리파리의 밀도억제 효과도 높았고 작은뿌리파리 유충에 의한 시들음 증상이나 고사되는 딸기의 피해도 줄었는데 무처리구 보다 7.4~10.4%의 피해율이 감소되었다.

검색어: 딸기, 수경재배, 작은뿌리파리, 아큐레이퍼응애, 생물적 방제

딸기에 발생하는 해충은 전 세계적으로 약 90여종이 알려져 있으며(Alford, 1984), 국내에서는 점박이응애(*Tetranychus urticae*)와 목화진딧물(*Aphis gossypii*)을 비롯하여 약 15여종이 보고되어 있다(Lee et al., 2008). 이 중 검정날개버섯파리과(Sciaridae)에 속하는 작은뿌리파리(*Bradysia difformis*)는 버섯의 균사, 자실체를 가해하거나 원예작물의 뿌리를 가해하는 것으로 알려져 있으며(Cantelo, 1979; Lee et al., 1999; Jeon et

al., 2004), 원예작물 시설재배지에서는 토양재배뿐만 아니라 수경재배지에서도 발생하여 작물 생육저하와 수량감소의 원인이 된다(Park et al., 1999; Kim et al., 2000; Lee et al., 2001).

최근 딸기를 환경친화적으로 생산하기 위해 톱밥, 펄라이트, 코코피트 등의 유기물이 함유된 고품배지를 이용한 순환식 고설 수경재배로 전환하는 농가가 늘고 있다. 하지만 유기물과 수분이 풍부한 배지는 오히려 작은뿌리파리와 같은 토양 서식성 해충의 먹이원이거나 산란처가 되며, 형태적으로 굵은 딸기 뿌리를 선호하는 작은뿌리파리가 연중 발생하기에 적합한 환경이 되기도 한다.

*Corresponding author: hkim8753@korea.kr

Received June 7 2015; Revised October 31 2016

Accepted November 9 2016

작은뿌리파리의 유충은 뿌리 조직 내로 침입하여 지제부 조직 속까지 갹아먹음으로써 생육을 저해시키고, 그 과정에서 토양 내 병원균을 매개하기도 하는데, 이러한 피해는 육안 관찰이 어렵고 잘록병 피해로 오인되기도 한다(Lee et al., 2001). 성충 또한 몸체에 병원균을 묻혀 다른 식물체로 이동, 정착하거나, 산란하는 과정에서 병원균을 매개하기도 한다(Lee et al., 2001). 작은뿌리파리가 매개하는 병원균은 *Pythium*, *Thielaviopsis*, *Botritis*, *Fusarium*, *Verticillium* 등이 알려져 있어(Kalb and Millar, 1986; Jarvis et al., 1993), 전국적으로 작은뿌리파리 피해와 함께 복합적 피해가 증가하고 있는 실정이다.

작은뿌리파리에 의한 피해를 줄이기 위해 살충제를 이용하는 화학적 방제법에 전적으로 의존하고 있으나, 최근 등록된 살충제로도 효과적으로 방제할 수 없어 피해가 늘어나고 있다. 특히 친환경 재배지에서는 친환경자재 등을 이용한 방제효과가 불투명하여 피해는 가중되고 있는 실정이다.

작은뿌리파리를 비롯한 버섯파리의 생물적 방제를 위한 포식성 천적으로는 아큐레이퍼응애(*Hypoaspis aculeifer*), 마일즈응애(*Hypoaspis miles*), 스키미투스응애(*Stratiolaelaps scimitus*) 등이 있으며, 기생성 천적으로는 곤충병원성 선충 *Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae* 등이 알려져 있다(Chambers et al., 1993; Gouge and Hague, 1994; Wright and Chambers, 1994; Freire et al., 2007). 미국, 유럽 등에서는 관상식물에 발생하는 작은뿌리파리와 동종이명인 *B. paupera* 뿌리파리류 방제를 위하여 마일즈응애(Chambers et al., 1993; Wright and Chambers, 1994)와 곤충병원성 선충 *S. feltiae*를 이용한 사례가 있다(Richardson and Grewal, 1991; Gouge and Hague, 1994).

아큐레이퍼응애는 지상부 보다는 지하부 해충의 생물적 방제를 위하여 몇몇 원예작물에서 성공적으로 이용되었는데, 오이 수경 재배지에서 토양서식 포식성 응애 *Geolaelaps* sp. nr. *aculeifer*를 방사하여 버섯파리 *Bradysia* spp. (Gillespie and Quiring, 1990)를, 포인세티아 포트재배지에서 아큐레이퍼응애를 방사하여 작은뿌리파리(Jeon et al., 2007)를, 민트 포트재배지에서 아큐레이퍼응애와 마일즈응애를 이용하여 갹파리의 일종인 *Scatella temucosta* (Vänninen and Koskula, 2004)를 효과적으로 방제하였다. 또한 버섯재배지에서 검정날개버섯파리(sciarid), 벼룩파리(phorid) (Jess and Bingham, 2004), 버섯파리 *Bradysia matogrossensis* (Freire et al., 2007; Castilho et al., 2009b), *Bradysia* spp., 버섯선충(rhabditid) (Szafranek et al., 2013), *Lycoriella ingenua* (Kim et al., 2012), 작은뿌리파리, 표고큰검정버섯파리, 표고버섯혹파리(Kim et al., 2013), 그리고 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*) 번데기 (Glockemann, 1992; Berndt et al., 2004; Wiethoff et al., 2004;

Wu et al., 2014), 곤봉가루응애(*Tyrophagus similis*) (Kasuga et al., 2006) 등 토양에 서식하는 해충 및 특정 령기의 밀도를 억제하기 위하여 포식성 응애류를 이용하고 있다.

본 연구는 수경 딸기 재배지에 발생하여 딸기의 생육을 저해하거나, 고사시키는 작은뿌리파리에 대한 친환경 방제법의 일환으로 포식성 천적인 아큐레이퍼응애(*Hypoaspis aculeifer*)를 이용한 방제효과를 알아보기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

시험포장 선정

아큐레이퍼응애(*H. aculeifer*)를 이용한 딸기 수경재배에 발생하는 작은뿌리파리(*B. difformis*)의 방제효과 시험은 전북 남원시 운봉면(무농약 재배)과 경남 합천군 쌍책면(저농약 재배)의 2개소에서 수행하였다. 남원시 운봉면의 포장은 단동형 하우스 3동이었고, 1동 당 면적은 6.8 × 95 m였다. 딸기 재배용 베드는 시설하우스 당 5줄이었고, 7,000주의 딸기가 재배되고 있었다. 합천군 쌍책면의 포장은 단동형 하우스 5동이었고, 1동 당 면적은 8 × 100 m였다. 딸기 재배용 베드는 시설하우스 당 6줄이었고, 7,200주의 딸기가 재배되고 있었다. 두 지역 모두 주 품종은 설향을 재배하고 있었다.

육묘기 천적 방제 효과 조사

남원에서는 2012년 4월 25일에 육묘한 어린 묘에 5월 3일, 5월 12일, 5월 18일에 각각 아큐레이퍼응애를 646 m² 당 40,000 마리 밀도로 각각의 5개 베드에 임의로 2~3 m 간격을 두고 지제부에 흩어 방사하였다. 관행구는 chlorfluazuron 5% EC를 3회(5월 3일, 5월 25일, 6월 15일), acetamidrid 8% WP를 2회(5월 12일, 6월 2일) 각각 관주처리 하였다.

합천에서는 2012년 4월 23일에 육묘한 어린 묘에 5월 4일, 5월 12일, 5월 18일에 각각 아큐레이퍼응애를 800 m² 당 40,000 마리 밀도로 각각의 베드에 임의로 2~3 m 간격을 두고 지제부에 흩어 방사하였다. 관행구는 chlorfluazuron 5% EC를 3회(5월 4일, 5월 25일, 6월 15일), acetamidrid 8% WP를 2회(5월 12일, 6월 2일) 각각 관주처리 하였다.

본밭 천적 방제 효과 조사

남원 딸기 수경재배지(2012년 8월 31일에 정식)에서 아큐레이퍼응애의 방제 효과를 조사하였다. 아큐레이퍼응애는 9월

15일, 9월 20일, 9월 25일, 12월 28일 각각 4회 방사하였으며, 구입한 당일 오후 4~6시 사이에 방사하였다. 방사량은 646 m² 당 40,000마리였고, 5개 베드에 임의로 2~3 m 간격으로 지제부에 흩어 방사하였다. 관행구는 chlorfluazuron 5% EC 2,000배 희석액을 딸기 1본당 100 ml씩 3회(9월 15일, 10월 5일, 12월 28일), acetamiprid 8% WP 2,000배 희석액을 3회(9월 25일, 10월 18일, 1월 18일) 관주 처리하였다.

합천 딸기(2012년 9월 2일 정식) 재배지에서 800 m² 당 50,000마리의 아큐레이퍼응애를 각각의 5개 베드에 임의로 2~3 m 간격을 두고 지제부에 흩어 방사하였다. 아큐레이퍼응애는 2012년 9월 15일, 9월 20일, 9월 25일, 12월 8일 각각 4회 방사하였고, 관행구는 chlorfluazuron 5% EC 2,000배 희석액을 3회(9월 15일, 10월 5일, 12월 28일), acetamiprid 8% WP 2,000배 희석액을 3회(9월 25일, 10월 18일, 1월 18일)에 각각 관주 처리하였다.

작은뿌리파리의 발생밀도 및 피해 조사

아큐레이퍼응애 처리에 따른 작은뿌리파리 밀도억제 효과를 조사하기 위하여 딸기 베드에 황색 끈끈이트랩(15 × 25 cm)을 딸기로부터 30 cm 위, 5 m 간격으로 10개를 설치한 후 작은뿌리파리의 성충 발생밀도는 월 1~4회 새로운 트랩으로 교체하면서 조사하였다. 작은뿌리파리에 의한 피해조사는 베드 당 딸기 100주를 임의로 선정하여 이 중 식물체 전체가 시들거나 고사되는 것을 피해주로 간주하였으며, 1개 베드를 1반복으로, 총 3반복으로 수행하였다.

결과

모든 아큐레이퍼응애 방사구에서 작은뿌리파리 성충 밀도와 피해율은 관행구 보다 낮게 나타났다. 남원 딸기 어린 묘 재배지에서 육묘 초기에 아큐레이퍼응애를 3회 방사한 결과, 작은뿌리파리 성충의 밀도는 88.0~142.0마리(평균 115.6마리)로 살충제를 5회 관주처리한 관행구의 152.3~379.6마리(평균 237.4마리) 보다 적었다(Fig. 1A). 또한, 작은뿌리파리에 의한 피해가 나타나지 않았던 아큐레이퍼응애 방사구와는 달리, 관행 재배구에서는 0~21.7%(평균 8.7%)를 나타냈다(Fig. 1B).

남원 본밭 딸기 재배지에서 아큐레이퍼응애를 4회 방사한 결과, 작은뿌리파리 성충의 밀도는 89.1~134.4마리(평균 110.7마리)로 관행구의 102.3~323.6마리(평균 258.2마리)보다 적었다(Fig. 1C). 또한 아큐레이퍼응애 방사구에서 피해율은 0~1.0%(평균 0.2%)로 관행구 0.7~16.7%(평균 7.6%) 보다 낮았다(Fig. 1D).

합천 딸기 육묘에서 아큐레이퍼응애 3회 방사에 따른 작은뿌리파리 성충의 밀도는 95.9~115.6마리(평균 103.2마리)로 살충제를 5회 관주처리한 관행구의 107.1~357.0마리(평균 246.2마리) 보다 적었다(Fig. 2A). 육묘기간 중 작은뿌리파리 피해율은 아큐레이퍼응애 방사시 0~0.7%(평균 0.1%)였지만, 관행구는 0~25.3%(평균 10.3%)를 나타내어 작은뿌리파리의 밀도 억제와 동시에 피해도 10.2% 낮게 나타났다(Fig. 2B).

합천 딸기 본밭에 아큐레이퍼응애를 4회 방사한 결과, 작은뿌리파리 성충의 밀도는 23.5~107.3마리(평균 65.9마리)로 관행구 32.5~325.9마리(평균 217.3마리)보다 적었으며(Fig. 2C),

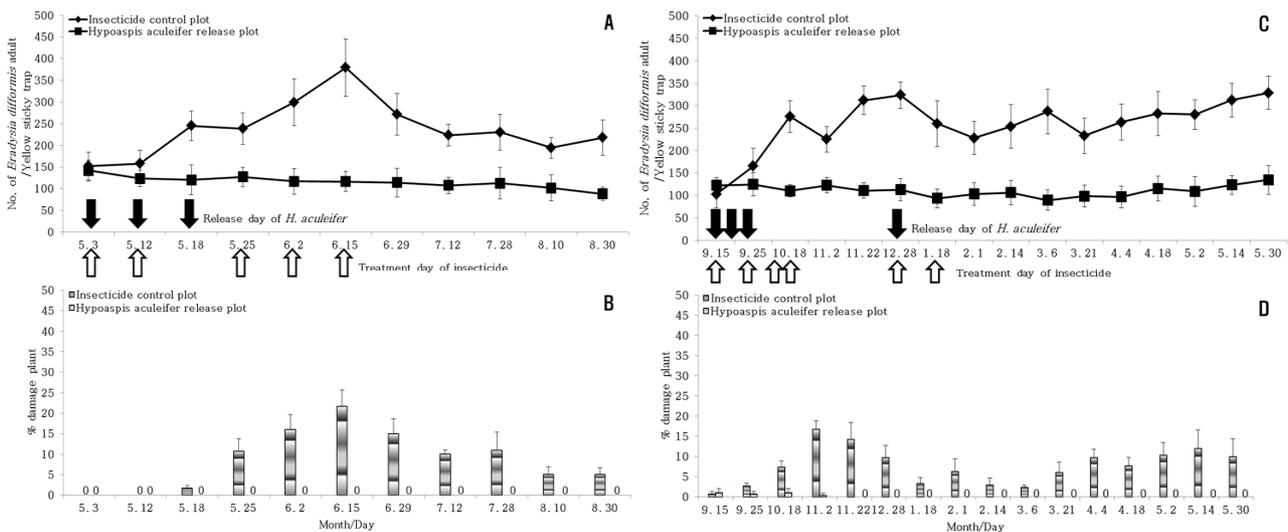


Fig. 1. Occurrences (A, C) of the fungus gnat *B. difformis* in strawberries and consequent damage rates (B, D) in *H. aculeifer*-released and insecticide-sprayed plots during the seedlingstage (A, B) and cultivation periods (C, D) in Namwon from 2012 to 2013.

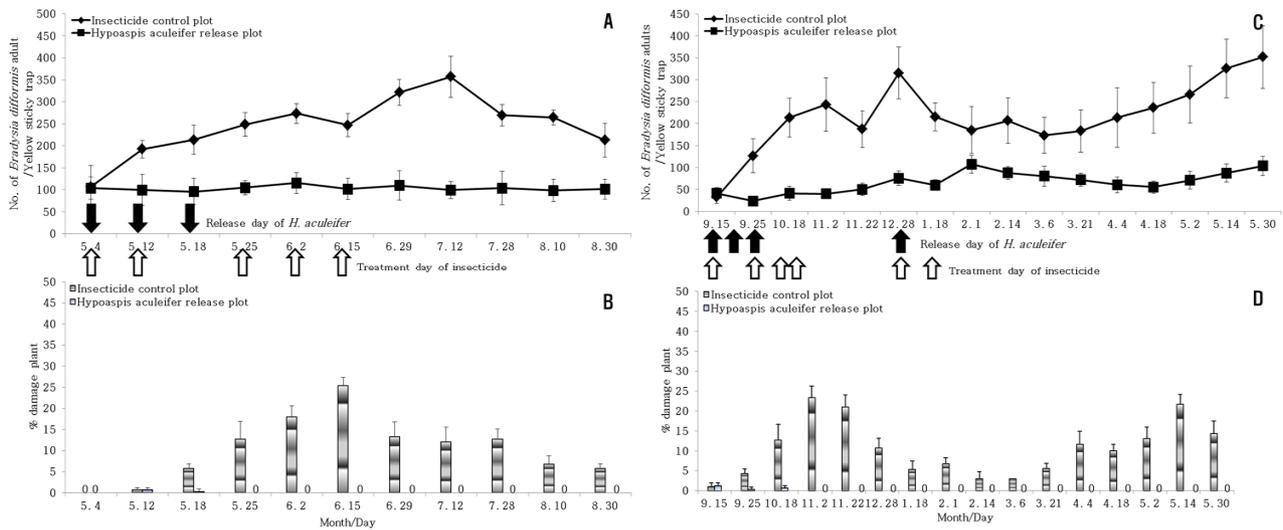


Fig. 2. Occurrences (A, C) of the fungus gnat *B. difformis* in strawberries and consequent damage rates (B, D) in *H. aculeifer*-released and insecticide-sprayed plots during the seedlingstage (A, B) and cultivation periods (C, D) in Hapcheon from 2012 to 2013.

아쿠레이퍼응애 방사구에서의 피해율도 0~1.3%(평균 0.1%)로 관행구 1.0~23.3%(평균 10.5%) 대비 10.4% 감소하였다 (Fig. 2D).

고찰

2012년부터 2013년까지 2년에 걸쳐 남원과 함천의 딸기 수경재배지에서 아쿠레이퍼응애를 배지에 방사하여 본발과 육묘 기간에 발생하는 작은뿌리파리의 성충 밀도와 피해를 관행구와 비교한 결과 육묘 혹은 정식 후 작기 중이라도 작은뿌리파리의 피해가 발생하면 포식성 천적인 아쿠레이퍼응애를 330 m² 당 40,000마리 밀도로 3~4회 방사하면 연중 지속적인 작은뿌리파리의 밀도 억제 효과에 의한 딸기 피해 감소로 생산량 증대가 기대된다.

작은뿌리파리와 같은 속(genus)에 속하는 벚꽃파리의 생물적 방제를 위하여 곤충병원성 세균 *Bacillus thuringiensis* (Harris et al., 1995; Cloyd and Dickinson, 2006), 곤충병원성 선충 *Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae* (Richardson and Grewal, 1991; Gouge and Hague, 1994; Kim et al., 2003; Kim et al., 2004), 포식성 천적 갈색반날개(*Atheta coriaria*) (Jandricic et al., 2006), 포식성 응애 아쿠레이퍼응애(*Hypoaspis aculeifer*) (Chambers et al., 1993; Jeon et al., 2007)와 마일즈응애(*Hypoaspis miles*) (Chambers et al., 1993), 스키미투스응애(*Stratiolaelaps scimitus*) (Beaulieu, 2009) 등 많은 천적들이 연구되어 왔다. 이중 아쿠레이퍼응애와 같은 포식성 응애를 이용한 지하부 서식 해충류에 대한 생물적 방제는 높은 가능성을

보여주고 있다. Castilho et al. (2009a)은 포식성 응애 *Protogamasellopsis posnaniensis*가 검정날개버섯파리인 *Bradysia matogrossensis*, 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 긴털가루응애(*Tyrophagus putrescentiae*), 뿌리응애(*Rhizoglyphus echinopus*), 토양선충 Rhabditidae에 속하는 *Protorhabditis* sp. 등을 포식할 수 있는 잠재력이 있는 천적임을 보고하기도 하였다. 오이 수경 재배지에서 토양서식 포식성 응애 *Geolaelaps* sp. nr. *aculeifer*를 주당 6,000마리 밀도로 방사하여 벚꽃파리 *Bradysia* spp. 유충과 성충을 10주 동안 효과적으로 감소시킨 사례도 있다(Gillespie and Quiring, 1990). Jeon et al. (2007)은 포인세티아 재배지에서 접목 후 7일째 아쿠레이퍼응애를 pot 당 20마리를 접종한 결과, 100%의 방제효과를 나타내었으며, 육묘 피해도 줄일 수 있었다고 보고하기도 하였다. 아쿠레이퍼응애와 마일즈응애를 이용해 민트작물에 피해를 주는 갯파리 일종인 *Scatella tenucosta*를 3주 후에 68~100%까지 방제한 사례도 있다(Vänninen and Koskula, 2004). 따라서 포식성 응애류는 시설원예작물에 피해를 주는 토양 서식성 해충의 생물적 방제를 위하여 활발하게 이용될 수 있다.

수경재배 딸기 재배지에 방사한 아쿠레이퍼응애는 배지 내에서 지속적으로 발생하고 있었다. 특히, 육묘 중에 방사한 아쿠레이퍼응애는 작은뿌리파리의 밀도 억제효과와 더불어 본발으로 정식되면서 딸기 묘와 함께 이동, 정착하여 초기 작은뿌리파리의 발생을 억제하는 효과도 있었다(Kim, H.H, personal communication). 수경재배 딸기에서 아쿠레이퍼응애의 밀도 억제효과가 높았던 것은 펠라이트, 상토 등 유기물로 이루어진 배지에 방사된 아쿠레이퍼응애가 수평 혹은 수직으로 활발하

기 움직일 수 있었기 때문이라 사료된다. 또한 작은뿌리파리는 주로 배지의 1 cm 이내에 분포하므로 아쿠레이퍼응애에게 쉽게 포식 당할 수 있었을 것이다. 그리고 작은뿌리파리의 유충이나 성충보다 알을 더 선호하는 아쿠레이퍼응애의 먹이습성도 작은뿌리파리의 밀도억제 효과에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 이러한 먹이 습성은 마일즈응애도 유사한데, Chambers et al. (1993)은 시클라멘과 포인세티아에 발생하는 버섯파리 *Bradysia* spp.의 방제를 위해 방사한 마일즈응애가 포트의 상토 1 cm 이내에 주로 분포하였으며, 7주 후까지 먹이 없이도 생존하였다.

무농약 딸기 수경재배지에서 작은뿌리파리의 생물적 방제를 위하여 포식성 응애, 아쿠레이퍼응애를 m² 당 60.6마리를 육묘시기에는 3회, 작기 중에는 3~4회 방사하면 작은뿌리파리의 밀도를 효과적으로 억제할 수 있었고, 작물의 피해도 7.4~10.4%를 줄일 수 있어 친환경 딸기 생산에 일조할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 작은뿌리파리의 피해는 주로 유충에 의해 발생하고 유기물이 풍부한 토양 내에 서식하기 때문에 천적을 이용한 방제의 경우 토양 내에 서식하면서 알, 유충 및 번데기를 동시에 포식할 수 있는 포식성 응애는 수경재배 작물, 구근 화훼류 및 초화류 등 다양한 작물에서 적용이 가능할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청연구사업(PJ011218032016)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

Literature Cited

- Alford, D.V., 1984. A colour atlas of fruit pests-their recognition, biology and control. Wllfe publishing Ltd, London. UK. 320pp.
- Beaulieu, F., 2009. Review of the mite genus *Gaeolaelaps* Evans & Till (Acari: Laelapidae), and description of a new species from North America, *G. gillespiei* n. sp. Zootaxa 2158, 33-49.
- Berndt, O., Meyhöfer, R., Poehling, H.M., 2004. The edaphic phase in the ontogenesis of *Frankliniella occidentalis* and comparison of *Hypoaspis miles* and *Hypoaspis aculeifer* as predators of soil-dwelling thrips stages. Biol. Cont. 30, 17-24.
- Cantelo, W.W., 1979. *Lycoriella mali*: Control in mushroom compost by incorporation of insecticide into compost. J. Econ. Entomol. 71, 703-705.
- Castilho, R.C., de Moraes, G.J., Silva, E.S., Silva, L.O., 2009a. Predatory potential and biological of *Protogamasellopsis posnaniensis* Wisniewski & Hirschmann (Acari: Rhodacaridae). Biol. cont. 48, 164-167.
- Castilho, R.C., de Moraes, G.J., Silva, E.S., Freire, R.A.P., Eira, F.C.D., 2009b. The predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* as a control agent of the fungus gnat *Bradysia matogrossensis* in commercial production of the mushroom *Agaricus bisporus*. Inter. J. Pest. Manag. 55, 181-185.
- Chambers, R.J., Wright, E.M., Lind, R.J., 1993. Biological control of glasshouse sciarid flies (*Bradysia* spp.) with the predatory mite, *Hypoaspis miles* on cyclamen and poinsettia. Biocont. Sci. Technol. 3, 258-293.
- Cloyd, R.A., Dickinson, A., 2006. Effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* and neonicotinoid insecticides on the fungus gnat *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Lintner) (Diptera: Sciaridae). Pest Manag. Sci. 62, 171-177.
- Freire, R.A.P., Moraes, G.J., Silva, E.S., Vaz, A.C., Castilho, R. de C., 2007. Biological control of *Bradysia matogrossensis* (Diptera: Sciaridae) in mushroom cultivation with predatory mites. Exp. Appl. Acarol. 42, 87-93.
- Gillespie, D.R., Quiring, D.J.J., 1990. Biological control of fungus gnats, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae), and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), in greenhouses using a soil-dwelling predatory mite, *Geolaelaps* sp. nr. *aculeifer* (Canestrini) (Acari: Laelapidae). Can. Entomol. 122, 975-983.
- Glockemann, B., 1992. Biological control of *Frankliniella occidentalis* on ornamental plants using predatory mites. EPPO Bulletin 22, 397-404.
- Gouge, D.H., Hague, N.G.M., 1994. Control of sciarids in glass and propagation houses, with *Steinernema feltiae*. Brighton Crop Protec. Conf. 1073-1078.
- Harris, M.A., Oetting, R.D., Gardner, W.A., 1995. Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique for control of fungus gnats, *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae), in floriculture. Biol. Cont. 5, 412-418.
- Jarvis, W.R., Shipp, J.L., Gardiner, R.B., 1993. Transmission of *Pythium aphanidermatum* to greenhouse cucumber by the fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). Ann. Appl. Biol. 122, 23-29.
- Jandricic, S., Scott-Dupree, C.D., Broadbent, A.B., Harris, C.R., Murphy, G., 2006. Compatibility of *Atheta coriaria* with other biological control agents and reduced-risk insecticides used in greenhouse floriculture integrated pest management programs for fungus gnats. Can. Entomol. 138, 712-722.
- Jeon, H.Y., Kim, H.H., Jung, J.A., Kang, T.J., Yang, C.Y., 2007. Damage status of poinsettia by the fungus gnat (*Bradysia difformis*) and its control with predatory mite (*Hypoaspis aculeifer*). Korean J. Hort. Sci. Technol. 25, 468-473.
- Jeon, H.Y., Kim, H.H., Yang, C.Y., Cho, M.R., Yiem, M.S., Choo, H.Y., 2004. Development of simple monitoring techniques of fungus gnats, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) larva and adult

- in sweet pepper greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 43, 129-134.
- Jess, S., Bingham, J.F.W., 2004. Biological control of sciarid and phorid pests of mushroom with predatory mites from the genus *Hypoaspis* (Acari: Hypoaspidae) and the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. Bull. Entomol. Res. 94, 159-167.
- Kalb, D.W., Millar, R.L., 1986. Dispersal of *Verticillium albo-atrum* by the fungus gnat (*Bradysia impatiens*). Plant Dis. 70, 752-753.
- Kasuga, S., Kanno, H., Amano, H., 2006. Development, oviposition, and predation of *Hypoaspis aculeifer* (Acari: Laelapidae) feeding on *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae). J. Acarol. Soc. Jpn. 15, 139-143.
- Kim, H.H., Choo, H.Y., Lee, D.W., Lee, S.M., Jeon, H.Y., Cho, M.R., Yiem, M.S., 2003. Control efficacy of Korean entomopathogenic nematodes against fungus gnat, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) and persistence in bed soil. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44, 393-401.
- Kim, H.H., Choo, H.Y., Lee, H.S., Cho, S.R., Shin, H.Y., Park, C.G., Choo, Y.M., 2000. Occurrence and damage of *Bradysia agrestis* Sasakawa (Diptera: Sciaridae) in propagation house. Korean J. Appl. Entomol. 39, 89-97.
- Kim, H.H., Jeon, H.Y., Cho, M.R., Yang, C.Y., Choo, H.Y., Lee, H.S., Rhee, H.K., 2004. Damage and control of *Bradysia agrestis* Sasakawa (Diptera: Sciaridae) in herbaceous flowering plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22, 351-357.
- Kim, H.H., Cho, M.R., Kang, T.J., Ahn, S.J., Jeon, S.W., Lee, C.J., Cheong, J.C., 2012. Damage and biological control of dark winged fungus gnats, *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) in a shiitake cultivation. J. Mush. Sci. Prod. 10, 184-190.
- Kim, H.H., Kim, D.H., Yang, C.Y., Kwon, S.J., Jeon, S.W., Song, J.S., Cho, M.R., Lee, C.J., Cheong, J.C., 2013. Biological control of mushroom flies using the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* in a shiitake cultivation. J. Mush. Sci. Prod. 11, 230-239.
- Lee, D.H., Jo, C.W., Park, C.R., Lee, H.J., Kang, E.J., Seok, H.B., Seo, M.J., Kim, H.Y., Kim, Y.H., Yu, Y.M., Youn, Y.N., 2008. Road-map for environmental friendly integrated pest management (IPM) of insect pests on the strawberry vinyl-houses of farmer's field. Korean J. Appl. Entomol. 47, 273-286.
- Lee, H.S., Kim, K.J., Park, C.G., Shin, W.K., 1999. Description of fungus gnat, *Lycoriella mali* Fitch from Korea (Diptera: Sciaridae). Korean J. Appl. Entomol. 38, 209-212.
- Lee, H.S., Kim, H.S., Shin, H.Y., Kim, H.H., Kim, K.J., 2001. Host plant and damage symptom of fungus gnats, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae) in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 40, 149-153.
- Park, C.G., Yoo, J., Sasakawa, M., Choo, H.Y., Kim, H.H., Lee, H.S., 1999. Notes on newly recorded insect pest, *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae). Korean J. Appl. Entomol. 38, 59-62.
- Richardson, P.N., Grewal, P.S., 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.
- Szafranek, P., Lewandowski, M., Kozak, M., 2013. Prey preference and life tables of the predatory mite *Paratitus bituberosus* (Acari: Parasitidae) when offered various prey combinations. Exp. Appl. Acarol. 61, 53-67.
- Vänninen, I., Koskula, H., 2004. Biocontrol of the shore fly *Scatella tenuicosta* with *Hypoaspis miles* and *H. aculeifer* in peat pots. BioControl 49, 137-152.
- Wiethoff, J., Poehling, H.M., Meyhöfer, R., 2004. Combining plant-and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. Exp. Appl. Acarol. 34, 239-261.
- Wright, E.M., Chambers, R.J., 1994. The biology of the predatory mite *Hypoaspis miles* (Acari: Laelapidae), a potential biological control agent of *Bradysia paupera* (Diptera: Sciaridae). Entomophaga 39, 225-235.
- Wu, S., Gao, Y., Xu, X., Wang, E., Wang, Y., Lei, Z., 2014. Evaluation of *Stratiolaelaps scimitus* and *Neoseiulus barkeri* for biological control of thrips on greenhouse cucumbers. Biocont. Sci. Technol. 24, 1110-1121.