



콩 재배지 나방류 유충의 기생성 토착천적에 대한 살충제의 독성 평가

서미자^{1*} · 정다경¹ · 백채훈¹ · 홍서연² · 오지혜³ · 노광현³

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 해충잡초방제과, ²농촌진흥청 국립식량과학원 발작물개발부 스마트생산기술과, ³경상국립대학교 식물의학과

Toxicity Assessment of Insecticides to Indigenous Lepidopteran Larval Parasitoids in the Soybean Field

Meeja Seo^{1*}, Dageong Jeong¹, Chae Hoon Paik¹, Seo Yeon Hong²,
Ji Hye Oh³, and Gwang Hyun Roh³

¹Pests and Weeds Control Division, Dept. of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Smart Agricultural Technology Research Division, National Institute of Crop and Food Sciences, RDA, Miryang 50424, Korea

³Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

(Received on May 30, 2025. Revised on June 12, 2025. Accepted on June 13, 2025)

Abstract This study assessed the insecticide toxicity on two indigenous parasitoids of Noctuid larvae, *Exorista japonica* and *Meteorus pulchricornis*. Under laboratory condition, a residual toxicity test was conducted by applying 16 registered insecticides pest control in soybean to crop plants and exposing adult parasitoids to the treated plants at different time intervals. In *E. japonica*, exposure to plants treated with acrinathrin 5.7% SC at one and three days post-treatment resulted in a mortality rate of 40.0%. However, mortality decreased to 23.3% when exposed to plants seven days after insecticide treatment. For the remaining 15 insecticides, a mortality rate of less than 25% resulted from exposure to *E. japonica* adults on plants one day post-treatment. This indicate that most insecticides registered for soybean crops are unlikely to have a significant negative impact on *E. japonica*. Acrinathrin 5.7% SC, demonstrated toxicity to *E. japonica* as well as a high toxicity to *M. pulchricornis*, causing a mortality rate of 96.7% when exposed to treated plants one day after insecticide treatment. Furthermore, five insecticides, including flubendiamide 20% SC, and resulting in mortality ranging from 25% to 50%, showed moderate toxicity to *M. pulchricornis*. Meanwhile, eight insecticides including pyrifluquinazone 6.5% SC with mortality rates below 25% for *M. pulchricornis* were classified as low-toxicity insecticides. From 2022 to 2024, these two parasitoids were investigated by collecting *Spodoptera litura* and *S. exigua* larvae from soybean fields in four counties in Jeollanam-do and Jeollabuk-do. The results revealed that the natural parasitism ranged from 8.1% to 35.0%. Considering the distribution of these indigenous parasitoids in open fields in Korea, their potential pest control use was confirmed. Therefore, to protect and maintain these natural enemies, farmers should selectively use low-toxicity insecticides when applying chemical pest control.

Key words: Indigenous parasitoid, Low toxicity pesticide, *Spodoptera litura*, *S. exigua*

*Corresponding author
E-mail: mijaseo0337@korea.kr

서론

국내 콩 재배지에 발생하는 나방류 해충은 약 49종이 보고되어 있다(Park et al. 1978). 콩 파종 후 초기인 6월 중순에서 7월 상순에는 주로 파밤나방(*Spodoptera exigua*)이 발생하며, 8월 이후부터 콩나방(*Leguminivora glycinivorella*), 콩잎말이명나방(*Pleuroptya ruralis*), 은무늬밤나방(*Macdunnoughia purissima*), 담배거세미나방(*S. litura*) 등이 발생한다(Paik et al., 2007). 6~7월에 주로 발생하는 파밤나방의 경우 콩 생육 초기에 잎을 가해하기 때문에 심각한 피해를 주기도 하지만 콩에 발생하는 대부분의 나방류 해충은 잎을 주로 가해하기 때문에 꼬투리를 가해하여 콩 수확량에 직접적으로 영향을 미치는 톱다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris*)에 비해 크게 주목받지 못했다(Jung et al., 2020). 그러나 최근 몇 년간 밤나방과(*Noctuidae*)에 속하는 담배거세미나방, 파밤나방, 콩은무늬밤나방(*Ctenophusia agnate*) 유충으로 인한 콩 잎 피해가 심각해지고 있다(Jung et al., 2020). 콩 생육 초기에 이러한 나방류에 의해 피해가 많을수록 협의 개수에 영향을 주어 콩 수량 감소의 원인이 될 수 있다고 보고 있다(Takashi et al., 1983). 담배거세미나방은 일반적으로 콩 재배지에서 8월부터 유충이 확인되는데, 수원지역에 설치한 담배거세미나방 페로몬 트랩에 5월말부터 포획되기 시작하여 11월 중순까지도 성충이 잡혔으며(Jung et al., 2020), 남부 지역에서는 빠를 경우 3월 중순부터 출현하는 것으로 보고 되었다(Bae et al., 2007). 파밤나방도 남부지역에서는 3월 초부터 11월 중순까지 지속적으로 성충이 페로몬트랩에 포획되는 것으로 확인되고 있다. 파밤나방이나 담배거세미나방의 국내 노지에서의 월동가능성은 아직까지 확인되지 않았으나, 최근 전북 익산 시설 딸기 재배지내에서 겨울 중 세대 유지를 통해 1~2월에도 파밤나방 유충 발생 및 피해가 확인된 바 있다(Seo, M., personal information, 2024). 또한 경북 안동에서도 1월말 파 재배온실에서 파밤나방 유충 80여 마리 정도가 채집되었다는 보고도 있다(Jung et al., 2020). 이렇게 겨울철 시설 내에서 세대를 유지한 나방 유충은 성충으로 우화 후 시설 측창 개방시 주변으로 확산하여 최초 발생시기가 해마다 앞당겨지는 원인이 될 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 이유로 정확한 발생 예측이 어렵고 약제 방제시기를 놓치는 경우가 많다.

국내 노지 재배지에는 이러한 나방류를 제어하는 토착천적 자원이 풍부하다. Paik 등(2007)이 호남지역 나물콩 재배지 내에서 유용생물자원을 탐색한 결과, 기생성 천적 7종(알 기생봉 2종, 유충 기생봉 4종 및 번데기 기생봉 1종)과 포식성 천적 5종이 확인되었다. 확인된 기생성 천적 중 예쁜가는배고치벌(*Meteorus pulchricornis* Wesmael)은 발생빈도가 매우 높은 나방류 유충 기생봉으로 확인되었다. 예쁜가는배고치벌은 11개 과에 속하는 나비목 유충을 공격하는 것으로

보고되어 있으며, 뉴질랜드, 동남아시아, 중국 등지에서 매미나방, 왕담배나방, 파밤나방, 담배거세미나방 방제를 위한 천적자원으로 활용되었다(Liu and Li, 2006; Walker et al., 2016). 국립농업과학원에서는 2008년 충남 시설 토마토에 발생한 나방류 유충에서 예쁜가는배고치벌 고치를 확보하여 실내대량사육 및 현장에서의 이용기술을 개발 중이다(Seo et al., 2019). 예쁜가는배고치벌 이외에도 나방류 유충 토착천적으로 확인된 긴등기생파리(*Exorista japonica* Townsend)도 2015년 멸강나방 유충에서 확보하여 담배거세미나방 4령유충으로 실내에서 대량 사육하고 있다(Seo et al., 2022). 노지에서 긴등기생파리의 담배거세미나방 유충 기생율은 11.8~62.2%로, 나방류 해충의 생물학적 방제제로서의 가능성이 충분하다는 사실이 확인된 바 있다(Takahashi, 1969). 일본에서 미국흰불나방 방제를 위해 이용된 바 있으며(Warren and Tadic, 1967; Shima, 1999), 매미나방 생물적 방제인자로 북미에 도입되기도 했다(Crosskey, 1976).

긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌 두 종의 토착천적 모두 기주범위가 매우 광범위하며, 특히 밤나방과 유충에 대한 높은 기생율을 보이는 것으로 알려져 있다(Seo et al. 2019; Seo et al., 2022). 두 천적 모두 나방류 유충 기생성 천적이지만, 긴등기생파리는 3령 이상 유충의 두부 및 흉부 사이 층체 표면에 육안으로 식별 가능한 크기의 알을 낳는 반면(Dindo and Nakamura, 2018), 예쁜가는배고치벌은 2~3령의 비교적 어린 유충의 층체 내부에 산란한다(Walker et al., 2016). 두 종 천적의 이러한 차별적인 기생 특성을 효과적으로 활용하여 노지에서 발생한 발육단계가 혼재한 밤나방류 해충의 밀도를 제어할 수 있을 것으로 본다. 하지만 전세계적으로 파밤나방을 포함한 나방류 방제는 살충제 의존도가 높고 그에 따른 약제저항성 문제가 우려되고 있는 현실이다(Cho et al., 2018; Wang et al., 2021). 약제방제를 한다 하더라도 최근 나방류 발생양상이 예측 불가능하여 방제시기를 놓치는 경우가 많기 때문에 토착천적을 적극적으로 활용할 수 있는 재배환경을 만들어주는 것이 중요하다고 본다.

본 연구에서는 콩에 등록된 살충제 16종 각각을 작물체에 처리한 후 처리 후 토착천적인 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌 성충을 노출시켜 약제 별 살충율을 조사하여 확인하였다. 살충율 결과로 잔류독성 정도를 IOBC(International Organization of Biological Control)의 기준에 따라 약제 별 두 종 천적에 대한 독성등급을 제시하고, 약제 처리 후 경과일에 따른 잔류독성을 확인함으로써 약제 처리 후에도 천적을 안전하게 투입할 수 있는지, 투입할 수 있다면 살포 후 투입 가능시기에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 또한 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌의 국내 노지 재배지 내 기생율 조사를 통한 분포상황을 조사함으로써 추후 농가에서의 살충제 사용시 이러한 토착천적을 보호하고 유지할 수 있도록 저독성 약제를 선택적으로 사용하도록 제한할 계획이다.

재료 및 방법

시험 천적 및 기주 곤충

본 연구에 사용된 천적 2종은 밤나방과 유충 기생성 천적인 긴등기생파리(*Exorista japonica*)와 예쁜가슴배고치벌(*Meteorus pulchricornis*)로, 긴등기생파리는 2015년 전라북도 김제시 금산면 원평리(35.8°N, 126.8°E) 화분과 잡초에서 채집한 멸강나방에서 번데기에서 확보하였다. 긴등기생파리는 곤충사육실(25 ± 1°C, 50~65% RH. 광주기 16L:8D)에서 아크릴케이지(25 × 15 × 15 cm)에 인공사료로 사육한 담배거세미나방 4, 5령 유충을 긴등기생파리 성충의 산란기주로 제공하고 먹이로는 물과 곤충사육용젤리를 제공하여 누대사육하였다.

예쁜가슴배고치벌은 2008년 충남 공주시 토마토 시설하우스내에 고치를 채집하여 확보하였다. 실내 누대사육은 인공사료로 사육한 담배거세미나방 1령 유충을 대원콩 유묘에 접종하고 아크릴케이지(70 × 87 × 118 cm)내에 포트 채 넣은 후 2, 3령까지 발육시킨 후 고치벌 성충을 아크릴케이지 내에 방사하여 기생시키고 온도 25 ± 2°C, 상대습도 37~45%, 광주기 16L:8D조건으로 사육하며 고치를 확보하였다.

시험약제

긴등기생파리와 예쁜가슴배고치벌에 저독성인 살충제를 선별하고자 콩에 등록된 16종의 살충제를 대상으로 작물체에 처리 후 잔류독성을 실시하였다. 이 때 약제처리 후 1일, 3일,

7일, 10일 14일이 경과한 작물체에 노출시켜 생충수 조사를 통한 사충율을 조사하고 독성을 평가하였다. 독성평가에 사용된 시험약제의 일반명, 유효성분, 제형, 작용기작 및 방제대상 해충 정보는 Table 1에 제시하였다.

콩에 등록된 살충제의 토착천적 2종에 대한 작물체 잔류 독성평가 및 2종 천적에 대한 독성등급 제시

긴등기생파리와 예쁜가슴배고치벌에 대한 살충제 15종의 작물체 잔류독성은 시험약제를 각각 추천농도로 희석하여 파종 후 20일 된 콩(대원콩) 유묘에 흘러내릴 정도로 충분히 살포하여 음건한 후 두 종 천적의 성충을 작물체에 노출시켰다. 약제 처리 후 1, 3, 7, 10, 14일이 경과한 콩 포트를 아크릴케이지(30 × 22 × 40 cm)에 넣고 긴등기생파리 성충 및 예쁜가슴배고치벌 성충을 20마리씩 케이지 내에 방사하여 24시간 후 생충수를 조사하였다. 긴등기생파리 독성평가 실험에서는 긴등기생파리 먹이로 물과 곤충사육용젤리를 함께 아크릴케이지에 넣어주었으며, 예쁜가슴배고치벌은 시판용 꿀을 10%로 물에 희석한 꿀물을 탈지면에 흡착시켜 먹이로 제공하였다.

실내에서 시험약제를 작물체에 처리한 후 경과일에 따른 2종 천적에 대한 잔류독성 평가 결과를 바탕으로 시험약제의 긴등기생파리 및 예쁜가슴배고치벌에 대한 독성등급을 분류했다. 이 독성등급 분류기준은 생물학적 방제 국제기구인 IOBC (International Organization of Biological and Integrated Control)의 기준에 따라 대상천적에 대한 살내검정을 실시하고

Table 1. Insecticides for toxicity tests to lepidopteran larval parasitoids, *Exorista japonica* and *Meteorus pulchricornis*

Common name / A.I.(%) ^{a)}	Formulation ^{b)}	Mode of action	Main target pests
Dinotefuran 10%	WP	4a	Aphids, thrips, whiteflies
Imidacloprid 8%	SC	4a	Aphids, fungus gnat
Spinosad 10%	WG	5	Whiteflies, thrips
Pyriproxyfen 10%	EC	7c	Whiteflies
Abamectin 1.8%	EC	6	Leaf mites, thrips
Chlorfenapyr 10%	SC	13	Leaf mites, moths
Pyrifluquinazon 6.5%	SC	-	Moths, aphids
Acrinathrin 5.7%	SC	3a	Thrips and leaf mites
Abamectin 1.3% + acrinathrin 2.3%	EW	6+3a	Thrips, leaf mites, moths
Flubendiamide 20%	SC	28	Moths
Spiromesifen 20%	WP	23	Whiteflies, leaf mites
Cyantraniliprole 10.26%	OD	28	Aphids, moths
Abamectin 1.714% + chlorantraniliprole 4.286%	SC	6+28	Thrips and leaf mites
Thialoprid 10%	SC	4a	Moths, thrips, aphids
Flonicamid 10%	WG	29	Aphids
Fluxametamide 9%	EC	-	Thrips, moths

^{a)}Active ingredient

^{b)}Formulation : WP(Wettable powder); SC(Suspension concentrate); WG(Water dispersible granule); EC(Emulsifiable concentrate); EW(Emulsion in water); OD(Oil dispersion)

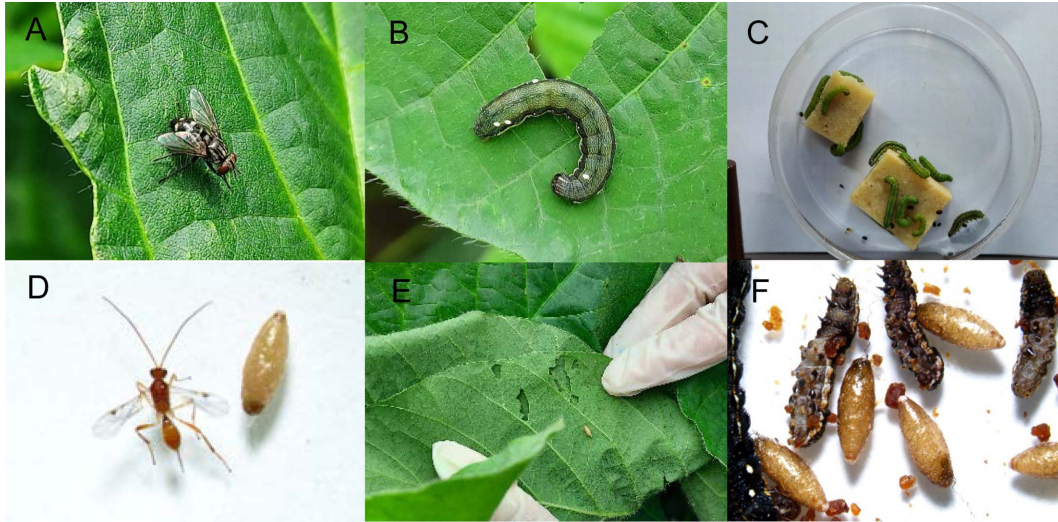


Fig. 1. Larval parasitoids, *Exorista japonica* (A: adult; B and C: parasitized *S. exigua* larva) and *Meteorus pulchricornis* (D: adult and cocoon; E: cocoon; F: parasitized *S. litura* larvae).

독성여부를 판단하여 작물보호제의 유효성분별 사충율을 통해 독성등급을 구분하고 있다. 보정사충율 25% 미만의 약제를 독성등급 1로 구분하여 대상천적에 대한 저독성 약제로 구분하고, 25~50%를 약한독성(독성등급 2), 51~75%를 보통독성(독성등급 3), 사충율 75% 이상의 약제를 고독성(독성등급 4) 약제로 분류하였다(Hassan, 1992; Natasa et al., 2017).

국내 콩 재배지에서의 긴등기생파리 및 예쁜가는배고치벌에 의한 나방류 유충 자연기생율 조사

2022년부터 2024년까지 전라북도 2개 시(군산시와 김제시)와 전라남도 2개 시군(여수시와 신안군)의 노지 콩 재배지에서 파밤나방 및 담배거세미나방을 채집하여 토착천적인 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된 유충의 비율을 조사하였다(Fig. 1A, 긴등기생파리 성충; Fig. 1D, 예쁜가는배고치벌 성충과 고치). 긴등기생파리에 의한 자연기생율은 유충 총체 표면에 긴등기생파리가 산란한 알이 육안으로 확인 가능하기 때문에 채집 후 즉시 실험실에서 확인이 가능했다(Fig. 1B and 1C). 하지만 예쁜가는배고치벌은 콩 재배지에서 고치벌의 기생에 의해 형성된 고치를 확인함으로써 기생여부를 확인하였다(Fig. 1E). 예쁜가는배고치벌은 나비목 유충의 총체 내부에 산란하며, 내부에서 성장을 마친 고치벌 종령유충이 나올 때까지 기생여부가 확인되지 않는다. 따라서 재배지에서 고치를 직접 찾는데 시간이 많이 걸리기 때문에 채집한 파밤나방 또는 담배거세미나방 유충을 실험실에서 사육하면서 나방 유충의 몸을 뚫고 나온 고치 확인을 통해 기생율을 조사하였다(Fig. 1F). 기생율 조사는 지역별, 채집시기별 채집한 파밤나방과 담배거세미나방 총 마리수에서 기생여부가 확인된 개체수를 백분율로 산정하였다.

통계처리

사충율은 무처리구 사충율을 대비한 아보트 보정사충율로 제시하였다(Abbott, 1925). 보정사충율은 처리구 사충율에서 무처리구 사충율을 뺀 값을 100에서 무처리구 사충율 값을 뺀 것으로 나누어 비율로 나타내었다. 실내 독성평가에 사용된 살충제의 작물체 처리 후 경과일에 따른 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌 성충 노출 후 잔류독성 검정 후 약제별 반응차이는 보정사충율 평균값을 일원배치분산분석 후 사후검정방법으로 Duncan test를 5% 유의수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

콩에 등록된 살충제의 긴등기생파리에 대한 작물체 잔류독성평가

작물체 약제처리 후 긴등기생파리 성충을 노출시켜 약제에 대한 작물체 잔류독성을 약제처리 후 경과일에 따른 사충율로 나타내었다. 16종의 살충제 중 acrinathrin 5.7% 액상수화제가 처리되고 1일, 3일이 경과된 작물체에 노출 시 40.0%의 사충율을 보이며 긴등기생파리 성충에 약한독성을 나타냈다. 하지만 살포 후 7일차부터는 평균 사충율 23.3%를 보이며 저독성이 확인되어 acrinathrin 살포 후 7일차 부터는 나방류 유충 방제를 위해 긴등기생파리 방사가 가능할 것으로 보인다(Table 2). Acrinathrin 5.7% 액상수화제를 제외한 대부분의 살충제의 경우 처리 후 1일차 작물에 긴등기생파리 성충을 노출시켰음에도 사충율 25% 미만으로 확인되었다. 같은 유효성분이라 하더라도 함량에 따른 사충율에 차이를 보이기도 했는데, acrinathrin 5.7% 액상수화제는 독성을 나타냈지만, abamectin 1.3%와 acrinathrin 2.3% 유탁제는 처리후 1일차 작물체에 노출되었어도 저독성을 나타내었다. 따라서 유효

Table 2. Residual toxicity of 16 insecticides against *E. japonica* adults (exposure on treated plants)

Common name/ A.I.(%)	Formulation ^{a)}	Toxicity on 1, 3, 7, 10, and 14 days after treatment Corrected mortality (% ^{b)})				
		1DAT	3DAT	7DAT	10DAT	14DAT
Dinotefuran 10%	WP	7.4±3.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Imidacloprid 8%	SC	0.0±0.0a	4.8±4.8ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Spinosad 10%	WG	6.7±6.7ab	6.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Pyriproxyfen 10%	EC	6.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Abamectin 1.8%	EC	22.2±11.1b	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Chlorfenapyr 10%	SC	6.7±6.7ab	6.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Pyrifluquinazon 6.5%	SC	13.3±3.3ab	6.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Acrinathrin 5.7%	SC	40.0±5.8c	40.0±5.8c	23.3±3.3b	20.0±5.8b	3.3±3.3b
Abamectin 1.3% + acrinathrin 2.3%	EW	13.3±3.3ab	13.3±3.3b	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Flubendiamide 20%	SC	10.0±5.8ab	6.7±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Spiromesifen 20%	WP	6.7±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Cyantraniliprole 10.26%	OD	6.7±3.3ab	3.3±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Abamectin 1.714% + chlorantraniliprole 4.286%	SC	6.7±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Thialoprid 10%	SC	10.0±5.8ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Flonicamid 10%	WG	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Fluxametamide 9%	EC	3.3±3.3a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
<i>p</i>		0.003	0.000	0.000	0.000	0.479

성분의 함량에 따라서 대상곤충에 대한 독성 정도가 달라질 수 있다. 하지만 살충제가 천적에 미치는 영향이 반드시 유효성분과 관련된 것만은 아니다(Alix et al., 2001; Cowles et al., 2000; Imai et al., 1995). 유제 및 수화제와 같은 제형은 보조제, 계면활성제나 용매와 같은 유효성분 외의 첨가된 성분이 천적에 독성을 나타내기도 한다는 사실을 파악하고 있어야 한다(Alix et al., 2001).

콩에 등록된 살충제의 예쁜가슴배고치벌에 대한 작물체 잔류 독성평가

예쁜가슴배고치벌 성충에 대해서도 긴등기생파리와 동일한 방법으로 16종의 살충제를 작물체 처리 후 경과일에 따른 접촉을 통해 잔류독성을 확인하였다. 긴등기생파리에서도 약한독성을 보인 acrinathrin 5.7% 액상수화제는 예쁜가슴배고치벌에 대해서도 약제 처리 후 1일 경과된 작물체에 노출되었을 때 96.7%의 사충율로 고독성을 보였다. Acrinathrin 2.3%와 abamectin 1.3% 합제의 경우에도 1일차 사충율 56.7%로 보통독성을 나타내며, 유효성분인 acrinathrin 함량에 따른 독성정도의 차이도 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 합제 유효성분 중 abamectin이 1.8%인 유제 단독처리 후 1일차 작물에 노출시 평균 사충율 10.0%로 저독성으로 확인된 것으로 볼 때, acrinathrin이 예쁜가슴배고치벌에 부정적인 영향을 미치지만, 유효성분의 함량이 독성정도를 결정할 수 있다는 주장에 뒷받침이 된다고 보여진다. 예쁜가슴배고치

벌에 대해 독성등급 2의 사충율 25% 이상 50% 미만의 보통독성을 나타낸 살충제는 flubendiamide 20% 액상수화제, spiromesifen 20% 수화제, cyantraniliprole 10.26% 유상수화제, thiacloprid 10% 액상수화제, fluxametamide 9% 유제로 확인되었다. 이외의 다른 살충제들은 모두 사충율 25% 미만의 저독성 약제로 확인되었다(Table 3). 예쁜가슴배고치벌은 긴등기생파리에 비해 살충제에 대한 감수성이 높은 것으로 보인다. 시험에 사용된 살충제 16종 중 pyriproxyfen 10% 유제를 포함한 8종의 살충제만이 처리 후 1일차 작물체 노출 후 사충율이 25% 미만으로 저독성을 보였다. Pyriproxyfen의 경우 유충호르몬 유사물질로 곤충의 발육과 성장을 저해하여 해충을 방제하지만, 천적이나 비표적 생물체엔 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 진딧물 포식성 천적인 어리줄풀잠자리나 총채벌레 포식성 천적인 애꽃노린재류의 발육이나 암컷의 수명 및 생식에 pyriproxyfen이 부정적인 영향은 주지 않는 것으로도 확인되었다(Ishaaya et al., 2007; Nagai, 1990).

콩에 등록된 살충제 16종의 토착천적 2종에 대한 독성등급 제시

긴등기생파리와 예쁜가슴배고치벌 두 종의 콩에 등록된 살충제 16종에 대한 사충율 결과를 기준으로 독성등급을 제시하였다. 긴등기생파리는 acrinathrin 5.7% 액상수화제에 대해 독성등급 2의 약한독성을 보였다. 이외 생물검정에 이용된 12종의 살충제는 모두 독성등급 1의 저독성으로 나타났다.

Table 3. Residual toxicity of 16 insecticides against *M. pulchricornis* adults (exposure on treated plants)

Common name/A.I. (%)	Formulation ^{a)}	Toxicity on 1, 3, 7, 10, and 14 days after treatment				
		Corrected mortality (%) ^{b)}				
		1DAT	3DAT	7DAT	10DAT	14DAT
Dinotefuran 10%	WP	26.7±12.0bcd	33.3±6.7bc	53.3±3.3d	40.0±5.8c	6.7±3.3ab
Imidacloprid 8%	SC	3.3±3.3a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	6.7±3.3ab
Spinosad 10%	WG	6.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Pyriproxyfen 10%	EC	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Abamectin 1.8%	EC	10.0±5.8ab	10.0±5.8a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Chlorfenapyr 10%	SC	20.0±5.8abc	16.7±6.7ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Pyrifluquinazon 6.5%	SC	6.7±3.3ab	6.7±3.3a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Acrinathrin 5.7%	SC	96.7±3.3f	56.7±8.8d	63.3±8.8e	66.7±8.8d	13.3±3.3bc
Abamectin 1.3% + acrinathrin 2.3%	EW	56.7±3.3e	16.7±6.7ab	13.3±3.3b	9.5±4.8ab	0.0±0.0a
Flubendiamide 20%	SC	43.3±3.3de	33.3±3.3bc	0.0±0.0a	3.3±3.3a	0.0±0.0a
Spiromesifen 20%	WP	43.3±6.7de	20.0±5.8ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Cyantraniliprole 10.26%	OD	43.3±8.8de	16.7±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Abamectin 1.714% + chlorantraniliprole 4.286%	SC	20.0±5.8abc	10.0±5.8a	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Thialoprid 10%	SC	41.7±4.8de	41.7±7.9cd	23.3±3.3c	20.0±15.3b	16.7±8.8c
Flonicamid 10%	WG	20.0±5.8abc	13.3±3.3ab	0.0±0.0a	0.0±0.0a	0.0±0.0a
Fluxametamide 9%	EC	36.7±8.8cde	33.3±6.7bc	13.3±3.3b	0.0±0.0a	0.0±0.0a
<i>p</i>		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Table 4. Toxicity classification for side effects of insecticides to lepidopteran larval parasitoids, *E. japonica* and *M. pulchricornis*

Common name/ A.I.(%)	Formulation ^{a)}	Main target pests	Toxicity classification of side effect ^{b)}	
			<i>E. japonica</i>	<i>M. pulchricornis</i>
Dinotefuran 10%	WP	Aphids, thrips, whiteflies	①	③
Imidacloprid 8%	SC	Aphids, fungus gnat	①	①
Spinosad 10%	WG	Whiteflies, thrips	①	①
Pyriproxyfen 10%	EC	Whiteflies	①	①
Abamectin 1.8%	EC	Leaf mites, thrips	①	①
Chlorfenapyr 10%	SC	Leaf mites, moths	①	①
Pyrifluquinazon 6.5%	SC	Moths, aphids	①	①
Acrinathrin 5.7%	SC	Thrips and leaf mites	②	④
Abamectin 1.3% + acrinathrin 2.3%	EW	Thrips, leaf mites, moths	①	③
Flubendiamide 20%	SC	Moths	①	②
Spiromesifen 20%	WP	Whiteflies, leaf mites	①	②
Cyantraniliprole 10.26%	OD	Aphids, moths	①	②
Abamectin 1.714% + chlorantraniliprole 4.286%	SC	Thrips and leaf mites	①	①
Thialoprid 10%	SC	Moths, thrips, aphids	①	②
Flonicamid 10%	WG	Aphids	①	①
Fluxametamide 9%	EC	Thrips, moths	①	②

^{a)}Formulation : WP(Wettable powder); SC(Suspension concentrate); WG(Water dispersible granule); EC(Emulsifiable concentrate); EW(Emulsion in water); OD(Oil dispersion)

^{b)}① Harmless < 25% mortality, ② slightly harmful 25~50%, ③ moderately harmful 51~75%, ④ harmful >75%

반면에 예쁜가는배고치벌은 긴등기생파리보다 살충제에 대한 감수성이 높게 나타났는데, 16종의 살충제 중 imidacloprid 8% 액상수화제를 포함한 총 8종의 살충제만 예쁜가는배고치벌에 저독성 약제로 확인되었다. 긴등기생파리에 약한독성을 보인 acrinathrin 5.7% 액상수화제에 대해 예쁜가는배고치벌은 독성등급 4의 고독성을 보였다(Table 4). 따라서 같은 나방류 유충 기생성 천적이라 하더라도 살충제에 대한 반응 정도의 차이가 있음을 고려해야 한다. 침투 이행성 살충제 중에는 유효성분이 식물의 꽃가루나 꿀을 먹고 사는 천적들에게 간접적인 영향을 미칠 수 있다는 보고도 있는데, 대부분의 천적곤충이 해충을 포식하거나 기생하기도 하지만 화분매개자 역할을 하기 때문에 이러한 천적곤충을 보호하기 위해서라도 약제 사용에 주의해야 한다(Stapel et al., 1997).

노지 콩 재배지에서의 토착천적인 긴등기생파리 및 예쁜가는배고치벌 자연기생율

국내 노지 재배지에서의 나방류 유충 토착천적인 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌의 분포조사를 위해 전라북도 군산시와 김제시, 전라남도 여수시와 신안군 총 4개 시군에서 2022년부터 2024년 6월부터 10월 중 노지 콩 재배지에서 파밤나방과 담배거세미나방 유충을 채집하여 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된 유충의 비율을 조사하였다. 2022년 콩 재배지에서 채집한 파밤나방 및 담배거세미나방 유충의 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌에 의한 기생율은 각각 4.9%와 9.5%였고, 2023년에는 긴등기생파리에 의해 기생된 유충은 확인되지 않았다(Fig. 2). 본 조사를 통해 우리나라 콩 재배지에서 긴등기생파리에 의한 기생율은 2024년 6.2%가 가장 높았으나, 브라질 남중부에서 콩이나 옥수수 재배지에서 채집한 나비목 유충 중 약 18.8%가 기생파리과 곤충에 의해 기생된 것이 확인되기도 했다(Weber et al., 2021). 반면에 2023년과 2024년 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된

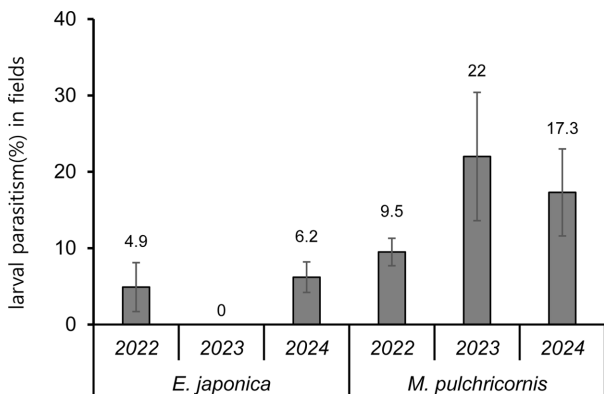


Fig. 2. Percentage of parasitism of noctuid larvae naturally parasitized by larval parasitoids, *E. japonica* and *M. pulchricornis* in soybean fields in Jeollabuk-do and Jeollanam-do from 2022 to 2024.

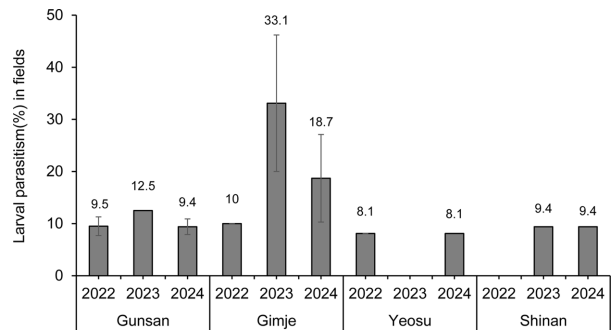


Fig. 3. Percentage of parasitism of noctuid larvae naturally parasitized by larval parasitoids by year(2022~2024) and regions (4 cities).

유충의 비율은 각각 22.0%와 17.3%로, 긴등기생파리보다는 예쁜가는배고치벌에 의한 기생율이 상대적으로 높은 것으로 확인되었다(Fig. 2).

전라남도와 전라북도 내 4개 시군 지역별 나방류 유충의 두 종 토착천적에 의한 자연기생율은 평균 8.1%에서 33.1%로 김제 지역에서 높게 나타났다(Fig. 3). 2000년대 초반 호남 지역 콩 재배지에서의 주요 해충 및 천적류를 조사한 연구 결과를 보면, 콩 주요 나방류 해충인 담배거세미나방 천적으로 예쁜가는배고치벌을 포함해 고치벌과 2종과 맵시벌과 1종의 유충 기생성 천적이 확인되었다(Paik et al., 2007). 그 중 예쁜가는배고치벌에 의한 나방류 유충 기생율이 매우 높은 것으로 보고되어 있다(Paik et al., 2007). 본 연구에서도 우리나라에서 8개도 총 16개 이상 시군의 콩 재배지에서 파밤나방과 담배거세미나방을 채집하여 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된 유충수를 조사한 결과, 6월부터 콩 재배지에서 채집된 파밤나방 유충이 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된 것이 확인되었으며, 전북 지역의 경우 예쁜가는배고치벌에 의한 유충 기생율이 50.0%까지 확인되었다(Fig. 4). 경상남도과 경상북도 지역에서 10월에도 담배거세미나방 유충이 채집되었는데, 채집된 개체 중 예쁜가는배고치벌에 의해 기생된 비율이 60.0% 까지 확인되었다(Fig. 4). 담배거세미나

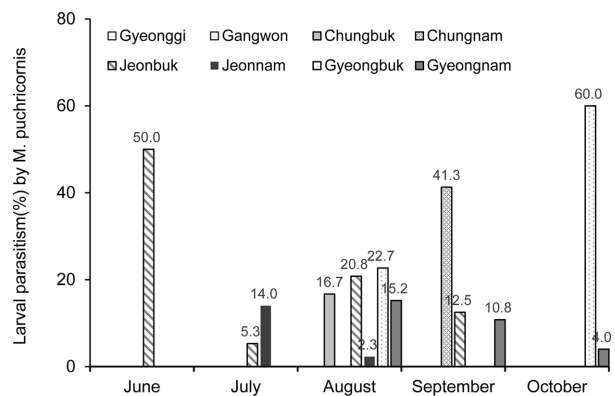


Fig. 4. Percentage of larvae parasitized by *M. pulchricornis* in 2024.

방은 거제, 남해, 부산, 진주 등 국내 남부지역에서는 11월 말까지도 발생하는 것으로 보고된 바 있다(Bae et al., 2007). 따라서 10월까지도 콩 재배지 내 담배거세미나방 유충도 나방류 토착천적에 의한 방제 가능성은 충분히 확인된다고 본다.

기생파리과는 전세계적으로 약 8천 5백여종이 보고되어 있는데, 대부분이 기생성 천적으로 알려져 있다(O'Hara, 2018). 이러한 기생성 천적들 중 기생파리과에 속하는 기생파리들은 작물에 피해를 주는 나비목 곤충의 생물적 방제제로 활용되며, 이러한 천적의 유지·보호를 통해 해충방제를 위한 살충제 사용을 줄일 수 있고 지속가능한 종합적 해충관리가 가능할 것으로 기대하고 있다(Begg et al., 2017). 토착천적에 비교적 저독성인 약제를 살포하도록 제안함으로써 천적자원을 보호할 뿐만 아니라 작물 및 해충의 종류, 재배 환경 및 지역에 맞는 노지 맞춤형 천적이용기술을 체계화하기 위한 추가적인 연구를 통해 농업기후환경변화에 대응한 효과적인 방제전략을 제시해야 할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업(트랩식물, 토착천적, 유인물질의 신문제 미소해충 방제효과 검증 및 현장적용 연구, 과제번호: RS-2024-00398362)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Author Information and Contributions

Meeja Seo, Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6819-0379>, Conceptualization, Methodology, Writing original draft preparation, Project administration.

Dagyeong Jeong, Pests and Weeds Control Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, Investigation.

Chae Hoon Paik, Pests and Weeds Control Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, Investigation and Writing review.

Seo Yeon Hong, Smart Agricultural Technology Research Division, National Institute of Crop and Food Sciences, RDA, Researcher, <https://orcid.org/0009-0006-2013-813X>, Investigation.

Ji Hye Oh, Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Researcher, <https://orcid.org/0009-0003-9958-5917>, Investigation.

Gwang Hyun Roh, Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Researcher, [1383-4402, Writing review](https://orcid.org/0000-0003-</p>
</div>
<div data-bbox=)

이해상충관계

저자 모두는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- Alix A, Cortesero AM, Nénon NP, Anger AP, 2001. Selectivity assessment of chlorfenvinphos reevaluated by including physiological and behavioral effects on an important beneficial insect. *Environ. Toxicol. Chem.* 20:2530-2536.
- Bae SD, Kim HJ, Lee GH, Park ST, 2007. Seasonal occurrence of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Hübner using sex pheromone traps at different locations and regions in Yeongnam district. *Kor. J. Appl. Entomol.* 46(1):27-35.
- Begg GS, Cook SM, Dye R, Ferrante M, Franck P, et al., 2017. A functional overview of conservation biological control. *Crop Prot.* 97:145-158.
- Cho SR, Kyung Y, Shin S, Kang WJ, Jung DH, et al., 2018. Susceptibility of field populations of *Plutella xylostella* and *Spodoptera exigua* to four diamide insecticides. *Kor. J. Appl. Entomol.* 57(1):43-50.
- Cowles RS, Cowles EA, McDermott AM, Ramoutar D, 2000. "Inert" formulation ingredients with activity: Toxicity of trisiloxane surfactant solutions to twospotted spider mites (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 93(2):180-188.
- Criosskey RW 1976. A taxonomic conspectus of the Tachinidae (Diptera) of the Oriental region. *Bull. Br. Mus. (Nat. Hist.). Ectomol. Suppl.* No.26.
- Dindo ML, Nakamura S, 2018. Oviposition strategies of Tachinid parasitoids : Two *Exorista* species as case studies. *Int. J. Ins. Sci.* 10:1-6.
- Hassan SA, 1992. Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: Description of test methods. *IOBC/WPRS Bulletin.* 15:1-3.
- Imai T, Tsuchiya S, Fujimori T, 1995. Aphicidal effects of silwet L-77, organosilicone Nonionic surfactant. *Appl. Entomol. Zool.* 30(2):380-382.
- Ishaaya IM, Barazani A, Kontsedalov S, Horowitz AR, 2007. Insecticides with novel modes of action: Mechanism, selectivity and cross-resistance. *Entomol. Res.* 37(3):148-152.
- Jung JK, Kim EY, Kim IH, Seo BY, 2020. Species identification of noctuid potential pests of soybean and maize, and estimation of their annual adult emergence in Suwon, Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 59(2):93-107.
- Liu Y, Li B, 2006. Developmental interactions between *Spodoptera exigua* (Noctuidae: Lepidoptera) and its uniparental endoparasitoid, *Meteorus pulchricornis* (Braconidae: Hemenoptera). *Biol. Con.* 38(2):264-269.
- Nagai K, 1990. Effects of juvenile hormone mimic material, 4-phenoxyphenyl (RS)-2-(2-[pyridyloxy] propyl ether, on

Thrips palmi Karny (Thysanoptera: Thripidae) and its predator *Orius* sp. (Hemiptera: Anthocoridae). Appl. Entomol. Zool. 25(2):199-204.

O'Hara JE, 2008. Tachinid flies (Diptera: Tachinidae). In: Capinera, J.L. (ed) Encyclopedia of entomology. Vol. 4, 2nd edn. Springer. Dordrecht. pp 3675-3686.

Paik CH, Lee GH, Choi MY, Seo HY, Kim DH, et al., 2007. Status of the occurrence of insect pests and their natural enemies in soybean fields in Honam Province. Kor. J. Appl. Entomol. 46(2):275-280.

Park KT, Hwang CY, Choi KM, 1978. Lepidopterous insect pests on soybean. Kor. J. Pl. Prot. 17(1):1-5.

Seo M, Kim JH, Seo BY, Park HH, Ji CW, et al., 2019. Effect of cold storage on parasitism and survival of *Aphidius colemani* and *Meteorus pulchricornis*. Kor. J. Appl. Entomol. 58(4):321-327.

Seo M, Rim H, Park HH, 2022. Biological characteristics of a larval parasitoid, *Exorista japonica* (Townsend)(Diptera: Tachinidae) for establishing of an effective indoor mass rearing. Kor. J. Pestic. Sci. 26(2):121-127.

Shima H, 1999. Host-parasite catalog of Japanese Tachinidae (Diptera). Nakunagi. Suppl. 1:1-108.

Stapel JO, Cortesero AM, De Moraes CM, Tumlinson JH, Lewis WJ 1997. Effects of extrafloral nectar, honeydew, and sucrose on searching behavior and efficiency of *Microplitis croceipes* (Hemiptera: Braconidae) in cotton. Environ. Entomol. 26(3):617-623.

Takahashi A, 1969. The parasitic state of *Exorista japonica* on the common cutworm, *Spodoptera litura* larvae. Proc. Kansai PI. Proc. Soc. 11:82-83.

Takashi S, Hitoshi K, Keizi K, 1983. Effect of artificial defoliation on growth and yield of soybean : Development of dynamic economic injury level and control threshold. Jpn. Appl. Entomol. Zool. 27:203-210.

Walker GP, MacDonald FH, Wallace AR, Cameron PJ, 2016. Interspecific competition among *Cotesia kazak*, *Microplitis croceipes*, and *Meteorus pulchricornis* (Hemiptera: Braconidae), larval parasitoids of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in New Zealand. Biol. Con. 93: 65-71.

Wang P, Tang F, Wang Y, Zhou LL, Luo HB et al., 2021. Monitoring the resistance of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to four insecticides in southern China from 2014 to 2018. J. Econ. Entomol. 114:332-338.

Warren LO, Tadic M, 1967. The fall webworm, *Hyphantria cunea*, its distribution and natural enemies: a world list (Lepidoptera: Arctiidae). J. Kans. Entomol. Soc. 40(2):194-202.

Weber ID, Lopes WR, de Paula LCB, Albernaz-Godinho KC, Czapak C, 2021. Tachinids associated with lepidopteran pests in agricultural crops in south-central region of Goiás, Brazil. Biocon. 66:625-637.

● ●
콩 재배지 나방류 유충의 기생성 토착천적에 대한 살충제의 독성 평가

서미자^{1*} · 정다경¹ · 백채훈¹ · 홍서연² · 오지혜³ · 노광현³

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 해충잡초방제과, ²농촌진흥청 국립식량과학원 발작물개발부 스마트생산기술과, ³경상국립대학교 식물의학과

요 약 밤나방과 유충의 기생성 토착천적인 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌에 대한 살충제의 독성정도를 확인하였다. 콩에 등록된 작물보호제 16종을 작물체에 처리한 후 경과일에 따른 두 종 천적의 성충을 노출시켜 잔류독성 실내검정을 수행하였다. 긴등기생파리의 경우, acrinathrin 5.7% 액상수화제 처리 후 1일, 3일 경과한 작물체에 노출 시 40.0%의 사충율을 보였다. 하지만 살포 후 7일이 경과한 작물체에 노출시 사충율은 23.3%로 떨어졌다. Acrinathrin을 제외한 15종의 살충제 처리 후 1일차 작물체에 긴등기생파리를 노출시켰음에도 사충율은 25% 미만으로 확인되었다. 따라서 콩에 등록된 대부분의 살충제는 긴등기생파리에 부정적인 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 긴등기생파리에서도 독성을 보인 acrinathrin 5.7% 액상수화제는 예쁜가는배고치벌에 대해서도 처리 후 1일 경과된 작물체에 노출시 96.7%의 사충율을 보였다. Flubendiamide 20% 액상수화제를 포함한 5종 살충제가 예쁜가는배고치벌에 대해 사충율 25~50% 미만의 보통독성을 나타냈다. Pyrifluquinazone 6.5% 액상수화제를 포함한 8종 살충제들은 예쁜가는배고치벌에 대해 모두 사충율 25% 미만의 저독성 약제로 확인되었다. 2022년부터 2024년까지 전라북도과 전라남도 4개 시군의 콩 재배지에서 긴등기생파리와 예쁜가는배고치벌의 파밤나방과 담배겨세미나방 유충에 대한 자연기생율은 8.1~35.0% 였다. 두 종 나방류 유충 토착천적의 국내 노지에서 분포상황을 고려할 때 천적 이용 방제 가능성은 충분하다고 판단되며, 농가에서의 살충제 사용시 이러한 토착천적을 보호·유지 할 수 있도록 저독성 약제를 선택적으로 사용할 것을 제안한다.

색인어: 담배겨세미나방, 파밤나방, 기생성 토착천적, 저독성 작물보호제

