



ORIGINAL ARTICLES

경북 북부지역 노지고추 담배나방 발생양상 및 방제전략

이대홍¹ · 박성임¹ · 이효진¹ · 장길수¹ · 조현석¹ · 권오훈² · 이상석^{1*}¹경북농업기술원 영양고추연구소, ²경북농업기술원 유기농업연구소Seasonal Occurrence and Management Strategies of the Oriental Tobacco Budworm (*Helicoverpa assulta*) in Red Pepper Fields of Northern Gyeongbuk ProvinceDae-hong Lee¹, Seong-im Park¹, Hyo-jin Lee¹, Kil-su Jang¹, Hyun-suk Cho¹,
Oh-hun Kwon², and Sang-seok Lee^{1*}¹Yeongyang Pepper Research Institute, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Yeongyang 36531, Korea²Organic Agriculture Research Institute, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Uiseong 37339, Korea

(Received on August 26, 2025. Revised on September 4, 2025. Accepted on September 4, 2025)

Abstract This study investigated the seasonal occurrence in relation to climate change and the insecticidal efficacy against the Oriental tobacco budworm (*Helicoverpa assulta*) in red pepper fields in northern Gyeongbuk Province. At red pepper fields in Yeongyang-Gun, adult population peaks were observed. In 2016 and 2017, the first generation peak occurred from the third week of June, and a total of three generation peaks were observed. Similarly, in 2023 and 2024, the first generation peak also began in the third week of June, however four generation peaks were observed until the third week of September, indicating an increase in the number of generations associated with climate change. Field efficacy tests of 20 insecticides against *H. assulta* showed that five insecticides with mode of action (MoA) 28 (chlorantraniliprole, flubendiamide, cyantraniliprole, cyclaniliprole, tetraniliprole), three insecticides with MoA 30 (broflanilide, fluxametamide, isocloseram), and pyridalyl with an unclassified MoA resulted in cumulative damaged fruit rates of less than 1.0% at 30 days after application. In laboratory tests using 5th-instar larvae, four insecticides (emamectin benzoate, chlorantraniliprole, fluxametamide, and pyridalyl) showed feeding inhibition rates of over 70%. Field efficacy tests of insecticide rotation according to different termination times showed that when control was continued until late August, control values in mid- and late September were higher than 90%. In field efficacy tests according to insecticide application intervals, a 10-day spraying interval resulted in high control efficacies of 99.3% and 95.9% in mid- and late September, respectively.

Key words: Control, *Helicoverpa assulta*, Insecticide, Monitoring, Red pepper

서 론

고추(*Capsicum annuum* L.)는 우리나라 전체 채소 중 가장 많은 재배면적과 생산액을 차지하는 국민 식생활에서 없어서는 안 될 중요한 조미채소로 2024년 재배면적은 26,436 ha로

전체 조미채소 재배면적의 29.1%를 차지하고 있는데 시도별 재배면적은 경북이 7,280 ha로 가장 넓고, 전남 4,094 ha, 전북 3,586 ha 순이다(KOSTAT, 2024; KREI, 2025). 그 중에서도 안동, 영양, 봉화 등 경북 북부지역의 고추 재배면적은 각각 1,680 ha, 1,291 ha, 1,045 ha로 국내 최대 고추 주산지로 꼽히고 있다(ReSCIA, 2024). 그러나 매년 고추에서 발생하는 병해충으로 인해 생산량은 감소되고 상품성은 낮아져 경제적 손실이 발생되고 있다.

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

우리나라에서 고추에 발생하는 해충은 담배나방, 점박이 응애, 꽃노랑총채벌레, 복숭아혹진딧물 등 모두 20종이 알려져 있으며(RDA, 2025), 비가림하우스에서는 진딧물, 총채벌레, 가루이, 잎응애, 담배나방 등이 주로 피해를 주고(Kim et al., 2012a), 노지 재배지에서는 진딧물, 총채벌레와 같은 바이러스 매개충의 피해와 함께 담배나방의 발생피해가 심한 편이다(Yang et al., 2004; Moon et al., 2006; Seo et al., 2018).

담배나방(*Helicoverpa assulta*)은 과밤나방(*Spodoptera exigua*), 담배거세미나방(*Spodoptera litura*), 열대거세미나방(*Spodoptera frugiperda*) 등과 함께 밤나방과(Noctuidae)에 속하는 아열대성 해충이며, 이러한 밤나방과 유충은 다른 나비목 해충에 비해 큰 몸집과 많은 섭식량으로 방제가 어려우며 큰 경제적 피해를 야기하고 있다(Hemati et al., 2012; Ullah et al., 2016; Chen et al., 2023).

담배나방은 주로 동아시아지역에 분포하며(Mitter et al., 1993, Liu et al., 2016), 고추가 재배되는 아프리카와 오스트랄라시아, 남태평양의 일부 지역에도 분포하는 것으로 알려져 있다(Boo et al., 1995; Jadhav and Armes, 1996; Park et al., 1996). 담배나방은 고추, 가지, 토마토, 담배 등 가지과(Solanaceae) 식물을 주로 섭식하는 협식성 해충으로 알려져 있다(Mitter et al., 1993, Lee et al., 2006, Wu et al., 2006). 성충은 잎 76.2%, 과실 16.8% 비율로 산란을 하며(Han et al., 1994), 부화한 유충이 주로 과실에 구멍을 뚫고 침투하여 피해를 주지만 잎을 가해하기도 한다(Hill, 1983). 중국에서는 담배나방에 의한 수확량 손실이 담배에서 5~15%, 고추에서 20~30%에 이른다는 보고가 있고(Wang et al., 2008), 우리나라에서는 고추에서 담배나방의 방제가 이뤄지지 않을시 5~55%의 수량손실이 발생한다는 보고가 있다(Baek et al., 2008).

2004년 국내 연구결과에 따르면 담배나방 성충의 발생은 6월 하순 월동세대인 1세대, 7월 하순~8월 상순 2세대, 8월 하순~9월 상순 3세대 발생최성기를 보이는 것으로 조사되었다(Yang et al., 2004). 고추에서 유충의 발생은 일반적으로 5령까지이며, 유충 한 마리가 여러 개의 과실을 가해하는 것으로 알려져 있다(Hwang et al., 1987).

해외에서 담배나방에 대한 약제방제 연구결과는 pyrethroids계(Mode of Action : 3A) bifenthrin과 semicarbazones계(MoA : 22B) indoxacarb는 다른 약제들 보다 높은 살충활성을 나타내며, 특히 indoxacarb는 비교적 저항성 발달이 느려 담배나방의 효과적인 방제를 위한 로테이션 처리약제로 제안되기도 하였다(Pang et al., 2012). Diamides계(MoA : 28) cyntraniliprole은 유충에 강력한 살충효과를 보이며, 유충에 LC₅₀ 농도 처리시 번데기 성장과 성충의 살란을 저하시키며 성충의 기형률(%)을 높인다는 연구결과가 있다(Dong et al., 2017). 저항성 발달과 관련하여서 중국에서 pyrethroids계 fenvalerate,

organophosphates계(MoA : 1B) phoxim, carbamates계(MoA : 1A) methomyl에서 각각 최대 17,622배, 50.8배, 37.1배 저항성비가 보고되기도 하였다(Xia et al., 2009). 국내에서 담배나방에 대한 약제방제 연구로는, pyrethroids계에 속하는 deltamethrin과 esfenvalerate를 성충 발생 최성기에 맞추어 6월 25일부터 9월 3일까지 총 5회(6/25, 7/15, 7/31, 8/12, 9/3) 살포한 결과, 8월 하순과 9월 상순의 피해과율(%)을 효과적으로 감소시킬 수 있었다는 보고가 있으며(Yang et al., 2004), chlorantraniliprole과 chlorfenapyr를 7월 상순부터 10일 간격으로 4회 교호살포하면 담배나방 피해과율(%)을 줄일 수 있다는 연구결과가 있다(Kwon, 2019).

2025년 6월 기준으로, 국내 고추 재배지에서 담배나방 방제를 위해 총 12가지 작용기작(MoA), 31종 성분의 살충제가 등록되어 사용되고 있으며(RDA, 2025), 이 중 diamide계의 cyclaniliprole(2017년 등록), tetraniliprole(2018년 등록), isoxazolines계의 fluxametamide(2018년 등록), isocycloseram(2022년 등록), meta-diamides계의 broflanilide(2020년 등록) 등은 2015년 이후 새롭게 등록되어 사용되고 있다. 그러나 고추 담배나방에 등록된 약제 전반에 대한 약효평가 및 저항성 발현여부에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 고추 노지 재배지에서 담배나방의 효과적인 방제를 위한 기초자료를 마련하고자 발생양상을 조사하고, 적용 약제 전반에 대한 약효평가, 처리 시기별, 처리 간격별 효과 검정을 수행하였다.

재료 및 방법

담배나방 발생 모니터링

담배나방 성충의 발생 모니터링은 영양고추연구소 노지포장에서 실시하였다. 2010년부터 매년 담배나방 예찰을 위한 성페로몬 트랩을 설치하여 조사하였다. 페로몬트랩은 담배나방 페로몬루어((Z)-9-hexadecenyl acetate, (Z)-9-hexadecenal, (Z)-11-hexadecenal), 그린아그로텍)를 지상 약 1.5 m 높이에 설치된 콘트랩에 부착하여, 내부에 유인된 담배나방 성충의 밀도를 조사하였다. 조사는 매년 5월 3주차부터 9월 4주차까지 7일 간격으로 조사하였으며, 3지점에 대한 평균 마리수를 조사하였다.

담배나방 피해과율 모니터링은 영양지역 노지 고추포장 20곳에서 2010년부터 매년 실시하였다. 7월 상순부터 9월 상순까지 10일 간격으로 포장별로 10주에 발생하는 담배나방 피해과를 조사하였으며, 피해과율(%)은 피해과/작과수 × 100으로 산출하였다.

담배나방 발생세대 분석

담배나방의 발생세대 분석을 위하여 세대별 누적유효적산 온도(cumulative effective degree-days, CEDD) 값을 우선

설정하였다. 발육온도 산정은 발육영점온도 11.8°C(Han et al., 1993)를 기준으로 하였으며, 이를 바탕으로 발생세대별 CEDD를 계산하였다. 2016년부터 2022년까지 기록된 영양고추연구소 노지포장의 세대별 발생최성기(성충)를 바탕으로 해당 시기의 일평균기온 자료와 비교하여 세대별 CEDD를 산출한 결과, 기준값은 1세대 250°C, 2세대 650°C, 3세대 1,050°C, 4세대 1,450°C로 설정되었다.

산정된 세대별 기준 CEDD를 바탕으로, 경북 북부지역 고추 주산지 3곳(영양, 안동, 봉화)의 2016년부터 2024년까지 기상 자료에 적용하여 발생세대를 추정하였다. 기상자료는 각 지역에 설치된 기상측정장치(농촌진흥청 농업기상관측시스템)의 시간별 평균기온을 사용하였다. 일평균기온은 $(\sum Ti)/24$ 로 계산하였으며 Ti는 시간별 평균온도이다. 이를 기반으로 연도별 누적 CEDD를 산출하고 세대별 발생여부를 추정하였다.

적용약제별 효과검정(포장시험)

국내에서 고추에 담배나방 방제용 경엽처리제로 등록되어

판매중인 11가지 작용기작, 20종 성분의 약제에 대한 포장 효과검토를 진행하였다(Table 1). 시험은 영양고추연구소 내 노지포장에서 난괴법 3반복으로 수행하였다. 2024년 5월 3일 정식(40 cm × 120 cm, 한줄 정식)한 고추(티탄에스, 팜한농)를 대상으로 진행하였으며, 담배나방 피해과 발생초기에 동력 분무기(EP-55W4H, ASABA, Nagano, JAPAN)를 이용하여 살포하였다. 처리간격은 농촌진흥청 농약안전정보시스템에서 담배나방 등록 살충제의 처리기준을 참고하여(RDA, 2025) 10일 간격으로 진행하였으며, 담배나방 2세대 성충 발생이 시작하여 피해가 급증하는 8월 상순까지 3회(7월 13일, 7월 23일, 8월 2일) 경엽처리 하였다. 약효조사는 최종 약제처리 10일 후, 20일 후, 30일 후 반복당 10주를 대상으로 피해과율(%)을 조사하였다. 피해과율(%)은 피해과/착과수 × 100으로 산출하였다. 약제처리 전 피해과는 제거하였으며, 매번 조사시 피해과를 제거하여 추가된 피해과를 합산하여 누적 피해과율(%)로 조사하였다. 방제효과(Control value, %)는 $[(a-b)/a] \times 100$ 으로 산출하였으며, a는 무처리 피해과율(%), b는

Table 1. List of insecticides for *H. assulta* used in field test of spraying treatments

Chemical Classification (Mode of Action)	Insecticide	AI ^{a)} %	Formulation ^{b)}	RC ^{c)} (ppm)
3A	Deltamethrin	1	EC	10
	Etofenprox	10	WP	100
5	Spinetoram	5	WG	25
6	Abamectin	1.8	EC	6
	Emamectin benzoate	2.15	EC	10.75
13	Chlorfenapyr	5	EC	50
15	Chlorfluazuron	5	EC	25
	Novaluron	10	SC	50
18	Methoxyfenozide	4	WP	40
22A	Indoxacarb	5	DC	50
22B	Metaflumozone	20	EC	100
28	Chlorantraniliprole	5	SC	25
	Flubendiamide	20	SC	100
	Cyantraniliprole	5	EC	25
	Cyclaniliprole	4.5	SL	25
	Tetraniliprole	18.18	SC	36.36
30	Broflanilide	5	SC	25
	Fluxametamide	9	EC	45
	Isocloseram	18.3	SC	73.2
UN ^{d)}	Pyridalyl	10	EW	100

^{a)}Rate of active ingredient.

^{b)}DC = Dispersible Concentrate, EC = Emulsifiable Concentration, EW = Emulsion in Water, SC = Suspension Concentrate, SL = Soluble Liquid, WG = Water dispersible Granule, WP = Wetttable Powder.

^{c)}Recommended concentration.

^{d)}UN = compounds of UNknown or UNCertain MOA.

Table 2. List of insecticides evaluated for toxicity against *H. assulta* larvae under laboratory conditions

Chemical Classification (Mode of Action)	Insecticide	AI ^{a)} %	Formulation ^{b)}	RC ^{c)} (ppm)
3A	Etofenprox	10	WP	100
5	Spinetoram	5	WG	25
6	Emamectin benzoate	2.15	EC	10.75
15	Chlorfluazuron	5	EC	25
28	Chlorantraniliprole	5	SC	25
30	Fluxametamide	9	EC	45
UN ^{d)}	Pyridalyl	10	EW	100

^{a)}Rate of active ingredient.

^{b)}EC = Emulsifiable Concentration, EW = Emulsion in Water, WG = Water dispersibel Granule, WP = Wettable Powder.

^{c)}Recommended concentration.

^{d)}UN = compounds of UNknown or UNcertain MOA.

처리구 피해과율(%)이다.

적용약제별 효과검정(실내시험)

고추에 담배나방 방제용 경엽처리제로 등록되어 판매중인 약제 중 농가에서 사용이 많은 대표적인 6가지 작용기작, 6종 성분의 약제에 대한 실내 효과검토를 진행하였다(Table 2). 영양지역 노지 고추포장(영양읍 대천리 428-3번지)에서 2025년 9월 12일, 9월 13일 실내검정에 필요한 담배나방 유충을 채집하였다. 채집은 양과망(50 cm × 20 cm)에 담배나방 피해과를 모은 뒤, 실내에서 담배나방 5령 노령유충을 핀셋으로 분리하였다. 담배나방 실내검정은 침지법을 통하여 3반복으로 진행하였으며, 각 살충제를 추천배수로 희석한 후 살충제가 처리되지 않은 고추 과피를 직사각형(약 3 cm × 2 cm)으로 잘라서 30초간 침지, 1시간 음건하였다. Insect breeding dish (100 mm × 40 mm, SPL, Pocheon, Korea)에 지름 98 mm로 자른 filter paper를 올린 후 음건된 고추 과피를 두 개씩 올려주고, 담배나방 유충을 5마리씩 붓으로 접종하였다. 이후 뚜껑을 덮고 먹이(고추 과피)의 수분이 마르는 것을 방지하기 위해 절단솜(60 mm × 40 mm)을 올리고 매일 1 ml의 증류수를 떨어뜨렸다. 온도 25 ± 1°C, 습도 50~60% 조건의 실험실에서 접종 48시간, 96시간, 192시간 후 사충수를 조사하여 치사율(%)로 환산하였다. 치사율(Mortality, %)은 [(a-b)/a] × 100으로 산출하였으며, a는 접종마리수, b는 생충수이다. 사망한 개체의 기준은 붓으로 건드렸을 때 이동하지 못하는 개체는 사망한 것으로 판단하였다(Wang et al., 2021).

약제에 의한 담배나방 섭식억제를 조사하기 위해서, 48시간 간격으로 먹이(고추 과피)를 교체해 주었으며, 섭식 전 고추 과피 무게와 섭식 후 고추 과피 무게를 측정하고 고추 과피의 수분감소를 12.0%를 반영하여서 보정섭식률(%)을 조사하였다. 보정섭식률(%)은 [(섭식 전 먹이무게-섭식 후 먹이 무게)-(섭식 전 먹이 무게 × 수분 감소율)]/섭식 전 먹이무게 × 100으로 산출하였다. 섭식억제율(%)은 [(a-b)/a]

× 100으로 산출하였으며, a는 무처리 보정섭식률(%), b는 처리구 보정섭식률(%)이다.

담배나방 방제시기별 효과검정

방제시기별 효과검정은 영양고추연구소 내 노지포장에서 난괴법 3반복으로 수행하였다. 2024년 4월 23일 정식(40 cm × 160 cm, 두줄 정식)한 고추(갈탄열풍, 아시아종묘)를 대상으로 7월 중순(7월 13일)부터 방제를 시작하여 방제 종료시기를 다르게 한 4개 처리구(8월 상순 종료, 8월 중순 종료, 9월 상순 종료, 9월 중순 종료)에 대한 담배나방 피해과율(반복당 10주, %)를 조사하여, 방제효과(%)로 환산하였다. 약제처리는 동력분무기를 이용하였으며, 시기 및 순서는 Table 6와 같이 10일 간격으로 진행하였다. 약효조사는 9월 중순(9월 12일)과 9월 하순(9월 22일) 2회 진행하였으며, 1차 조사(9월 12일) 후 피해과는 제거하여, 2차 조사 부터는 추가된 피해과를 합산한 누적 피해과율(%)로 조사하였다.

담배나방 약제처리 간격별 효과검정

약제처리 간격별 효과검정은 영양고추연구소 내 노지포장에서 난괴법 3반복으로 수행하였다. 2024년 4월 23일 정식(40 cm × 160 cm, 두줄 정식)한 고추(갈탄열풍, 아시아종묘)를 대상으로 7월 중순(7월 13일)부터 방제를 시작하여 처리 간격을 다르게 한 4개 처리구(7일 간격 처리, 10일 간격 처리, 14일 간격 처리, 20일 간격 처리)에 대한 담배나방 피해과율(반복당 10주, %)를 조사하여, 방제효과(%)로 환산하였다. 약제처리는 동력분무기를 이용하였으며, 시기 및 순서는 Table 7와 같이 진행하였다. 약효조사 시기 및 방법은 방제시기별 효과검정과 동일하게 진행하였다.

통계분석

약제별 효과검정(실내/포장), 처리 시기별 효과검정 및 처리 간격별 효과검정 결과분석은 Duncan's multiple range test로

유의수준 5%에서 피해과율(%), 치사율(%), 섭식률(%)의 차이를 비교하였다(R version, 4.4.3).

결과 및 고찰

담배나방 연중 발생변화

영양지역의 2016년, 2017년 담배나방 성충의 발생조사 결과(Fig. 1A), 6월 3주~4주차에 월동 후 1세대 발생최성기를 나타내었으며, 7월 4주에 2차 발생최성기, 8월 4주~9월 1주에 3차 발생최성기를 보인 후 성충의 밀도가 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 2023년, 2024년 성충의 발생조사 결과(Fig. 1B), 6월 3주~4주차에 월동 후 1세대 발생최성기를 나타내었으며, 8월 1주에 2차 발생최성기, 8월 4주~9월 1주에 3차 발생최성기를 보였으며, 9월 3주에 성충의 밀도가 한번 더 증가하여 4차 발생최성기를 나타내었다.

2004년 국내 연구결과에 따르면 담배나방 성충의 발생은 6월 하순 월동세대인 1세대 발생을 시작으로 9월 상순까지 총 3세대가 발생하는 것으로 보고되었다(Yang et al., 2004). 그러나 이후 보고된 연구들에서는 담배나방의 발생세대가 증가하고 있음을 보여주고 있다. 2020년 국내 전역에서

담배나방 성충이 6월 중순 1세대, 8월 상순 2세대, 9월 상순 3세대, 9월 하순 4세대 발생한다고 보고되었으며(Jung, 2020), 2022년 전북 완주 지역에서도 연중 4세대 발생이 확인되었다(Park, 2023). 이러한 결과들을 종합적으로 고려할 때, 최근 기온상승 등 기후변화의 영향에 의해 담배나방 성충의 발생 세대는 년 4세대로 증가한 것으로 추측된다.

또한, 2010년부터 영양지역 노지포장에서 9월 상순 진행한 담배나방 피해과율(%) 분석 결과(Fig. 2), 2021년부터는 2.0% 이상의 피해과율이 지속적으로 나타나고 있다. 이는 담배나방의 발생세대 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되며, 피해과율 증가의 원인분석과 더불어 효과적인 방제 체계 구축 및 기술보급이 필요하다고 판단된다.

담배나방 발생세대 분석

경북 북부지역 고추 주산지 3개 지역(영양, 안동, 봉화)의 기상데이터를 바탕으로 담배나방의 성충 발생세대를 추정하였다. 2016년부터 2024년까지의 누적유효적산온도(cumulative effective degree-days, CEDD) 분석 결과(1월~12월), 측정을 시작한 2016, 2017년 대비하여 2022년부터는 CEDD가 지속적으로 증가함을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

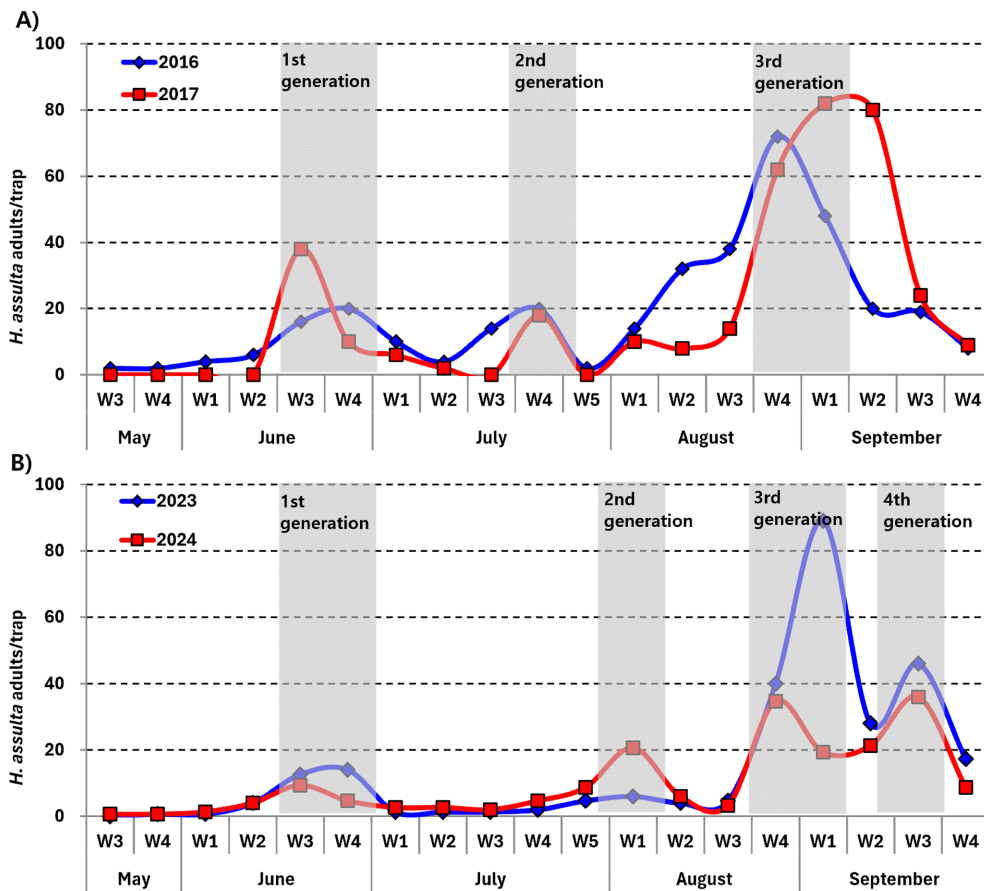


Fig. 1. Seasonal fluctuation of *H. assulta* adults captured in pheromone traps in red pepper fields. A) 2016-2017; B) 2023-2024. W3 = 3rd week of the month. Gray boxes indicate the peak periods of each generation.

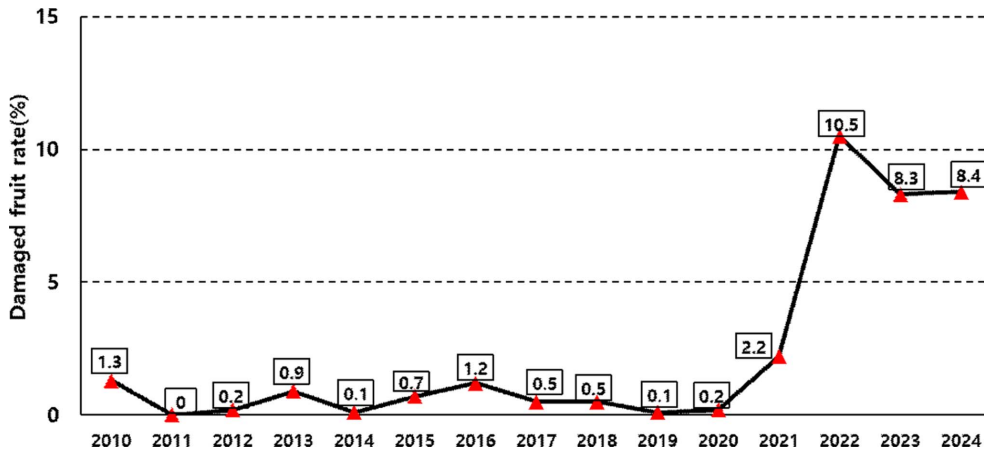


Fig. 2. Changes of damaged fruit rate caused by *H. assulta* in open fields of red pepper in Yeongyang-gun (observed in early September annually).

특히, 2017년과 2024년의 CEDD를 비교해보면 세 지역 모두에서 뚜렷한 상승 경향을 보였다. 영양군의 CEDD는 2017년 1,426.2°C에서 2024년 1,755.9°C로 329.7°C 증가하였다. 안동시는 1,549.7°C에서 1,924.0°C로 374.3°C 증가하였고, 봉화군은 1,364.6°C에서 1,738.0°C로 373.4°C 증가하였다. 이처럼 CEDD의 증가 폭이 300°C 이상인 것은 후기 세대 발생 가능성이 과거보다 높아졌음을 시사한다. 특히 영양과 봉화에서는 2022년부터 뚜렷한 4세대 발생이 이뤄진 것으로 추정된다. 안동의 경우 영양과 봉화와 비교하여 기온이 따뜻하여 2016년부터도 4세대 발생이 이뤄진 것으로 추정되나, 2022년부터 더욱 뚜렷한 4세대 발생이 나타난 것으로 판단된다(Fig. 3).

고추 주산지 3곳의 2017년, 2024년 연중 평균기온을 비교해보면 영양군은 10.7°C에서 12.7°C로, 안동시는 11.0°C에서 13.2°C로, 봉화군은 10.3°C에서 12.4°C로 각각 2.0~2.2°C 가량 상승하였다. 이러한 평균기온 상승은 장기간의 온도 누적을 촉진하여 CEDD 증가를 유도했을 가능성이 높다. 특히 고추 담배나방 발생피해가 많은 시기인 7~9월 평균기온 또한 모든 지역에서 크게 상승하였다. 영양군은 22.0°C에서 25.0°C로, 안동시는 22.4°C에서 25.8°C로, 봉화군은 21.5°C에서 24.5°C로 상승하였다. 이 시기의 온도 상승은 2세대와 3세대 발육속도를 가속화하고 세대 중첩을 강화하여 피해 발생 가능성을 높였을 것으로 판단된다.

곤충은 변온동물로서 외부 환경의 온도 변화에 따라 체온과 대사활동이 조절되며(Denlinger and Yocum, 1998), 이러한 온도 변화는 곤충의 성장속도 및 개체군 성장에 직접적인 영향을 미친다(Bowler and Terblanche, 2008). 실제로 기온 상승은 곤충의 세대수 증가, 발생지역 확장, 발생시기 변화 등을 유도할 수 있다. 감자뽕나방(*Phthorimaea operculella*)의 경우, 우리나라에서 1970년대까지는 남부지역에 국한되어 발생했지만, 0.9°C의 평균기온 상승으로 인해 2009~2012년

에는 발생지역이 200 km 북쪽으로 확산된 바 있다(Kwon, 2017). 또한 밤나방과에 속하는 *Spodoptera eridania*는 브라질 내에서 지역 간 온도 차이에 따라 세대 수가 2.9세대에서 9.2세대까지 차이를 보였으며(Sampaio et al., 2021), 국내의 경우 밀양지역에서 기온상승의 영향으로 2009~2011년 11월 발생한 담배거세미나방, 파밤나방 개체수가 2000~2002년 개체수 대비 각각 5배, 2배 증가하였다는 연구결과가 있다(Kim et al., 2012b). 이러한 기온상승에 따른 해충의 세대수 증가 및 발생시기 변화는 농작물 피해를 심화시킬 뿐만 아니라, 살충제 저항성 발달을 앞당길 수도 있다. 따라서 기후 변화에 따른 담배나방의 지역별 세대수 증가는 정기적인 모니터링이 필요하며, 적기방제를 위한 발생 예측 모델의 정밀도 향상을 위한 지속적인 연구가 필수적이다.

포장 방제효과 검증

11가지 작용기작, 20종 성분의 담배나방 방제약제를 대상으로 노지포장에서 효과검정을 수행한 결과는 Table 3과 같다. 최종 약제처리 30일 후 누적 피해과율을 조사한 결과, 무방제 처리구는 4.8%의 피해과율을 보였으며 diamides계(MoA : 28)에 속하는 chlorantraniliprole, flubendiamide, cyantraniliprole, cyclaniliprole, tetraniliprole, isoxazolines&meta-diamides계(MoA : 30)에 속하는 broflanilide, fluxametamide, isocloseram, 작용기작 미분류(UN, Unknown)로 된 pyridalyl은 최종 약제처리 30일 후 1.0% 이하의 피해과율을 나타내어 포장에서 가장 우수한 약효를 나타내었으며, spinosyns계(MoA : 5) 중 spinetoram, avermectins계(MoA : 6) 중 emamectin benzoate는 1.5% 이하의 피해과율을 나타내었다.

포장 효과검정 결과를 살충제의 작용기작별로 분류해본 결과(Table 3), 작용기작별 담배나방에 대한 약효가 명확하게 비교가 되었으며, diamides계, isoxazolines&meta-diamides계, 미분류 계통 약제가 1.0% 이하의 피해과율을 나타내어서

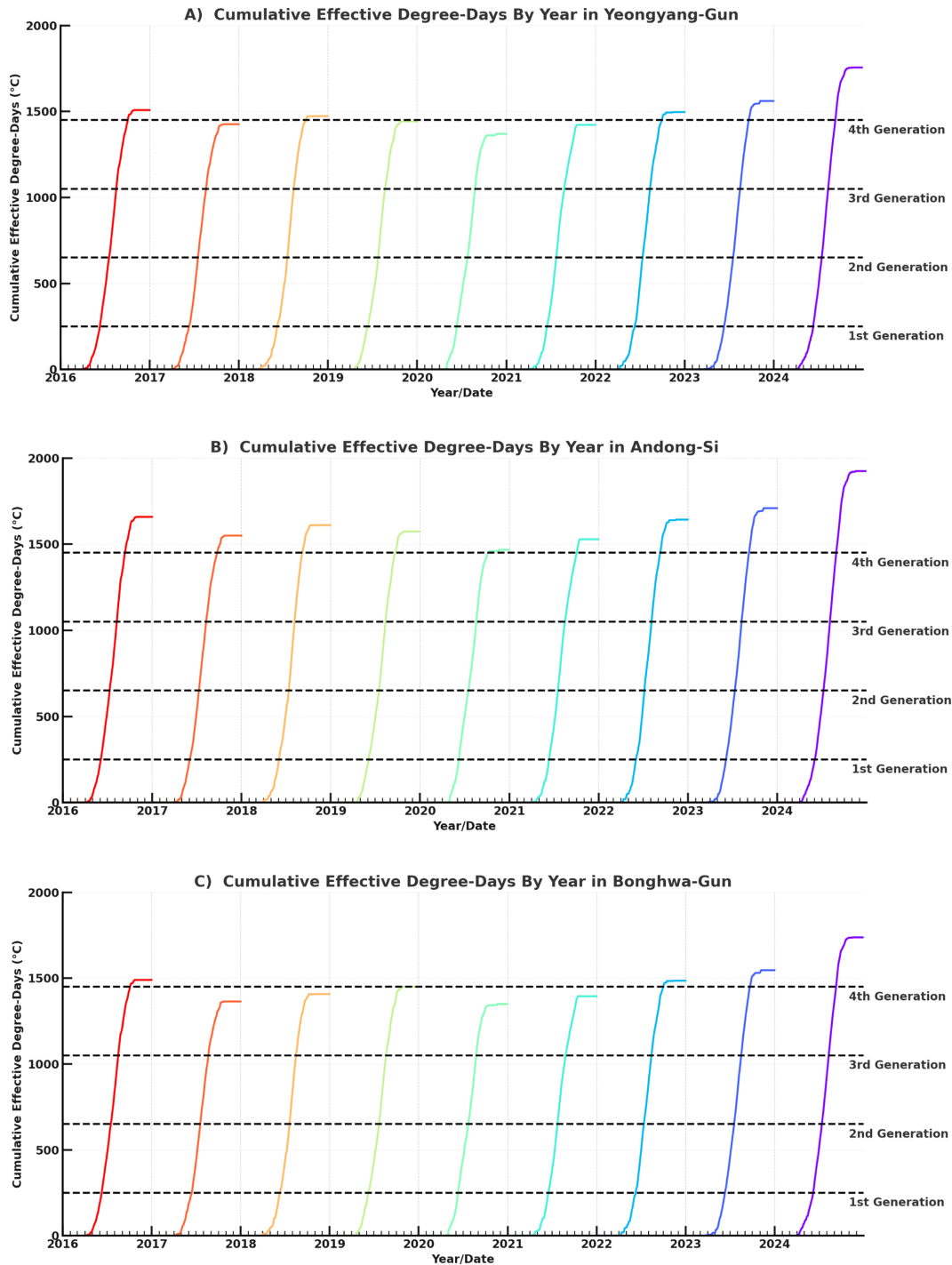


Fig. 3. Analysis of *H. assulta* generation cycles from 2016 to 2024 based on climatic data. A) Yeongyang-Gun; B) Andong-Si; C) Bonghwa-Gun. Cumulative effective degree-day thresholds for each generation were set at 250°C (1st), 650°C (2nd), 1,050°C (3rd), and 1,450°C (4th).

담배나방 포장 효과검정에서 가장 우수한 약효를 나타내는 작용기작으로 조사되었다.

실내 살충활성 검정

7가지 작용기작, 7종 성분의 담배나방 5령 노령유충에 대한

실내 살충활성 검정결과, spinetoram, emamectin benzoate, chlorantraniliprole, fluxametamide 4종의 성분은 접종 192 시간 후 80.0% 이상의 치사율을 나타내었다(Table 4).

먹이(고추 과피)에 대한 96시간 동안 섭식률(%)을 기준으로 섭식억제율(%)을 조사한 결과, emamectin benzoate, chloran-

Table 3. Field test results of twenty insecticides by spraying treatment for *H. assulta* in open fields of red pepper

Insecticides	IRAC Mode of Action	Damaged fruit rate (% , mean ± SE)		
		12-August (10 DAT ^{a)})	22-August (20 ^{b)} DAT)	1-September (30 DAT)
Deltamethrin	3A	1.2±0.8ab ^{c)}	1.8±0.4b	2.9±0.9ab
Etofenprox		1.2±0.4abc	1.6±0.7bcd	2.1±1.0b
Spinetoram	5	0.1±0.1d	0.3±0.1cdefg	1.1±1.2defg
Abamectin	6	0.7±0.2bcd	1.2±0.4bcd	2.2±0.5bcd
Emamectin benzoate		0.2±0.1d	0.5±0.0cdefg	1.1±0.3cdefg
Chlorfenapyr	13	1.0±0.2abcd	1.2±0.0bcde	1.9±0.2bcd
Chlorfluazuron	15	0.9±1.0abcd	1.3±1.0bcd	2.1±1.6bc
Novaluron		1.3±0.5ab	1.9±0.6bc	2.3±0.5ab
Methoxyfenozide	18	1.0±1.0abcd	1.1±1.1cdef	1.6±1.8bcd
Indoxacarb	22A	0.9±0.3abcd	1.0±0.3bcd	2.2±0.2bcdef
Metaflumozone	22B	1.0±1.5abcd	1.1±1.4bcd	2.3±1.4bcde
Chlorantraniliprole	28	0.0±0.0d	0.0±0.0g	0.1±0.5g
Flubendiamide		0.1±0.1d	0.2±0.1g	0.2±0.1efg
Cyantraniliprole		0.2±0.1d	0.2±0.0g	0.3±0.5defg
Cyclaniliprole		0.0±0.0d	0.1±0.1g	0.3±0.1fg
Tetraniliprole		0.1±0.2d	0.1±0.2g	0.1±0.2efg
Broflanilide		0.3±0.6bcd	0.5±0.8efg	0.7±1.0cdefg
Fluxametamide	30	0.2±0.0cd	0.4±0.1fg	0.5±0.6cdefg
Isocloseram		0.2±0.0cd	0.3±0.1fg	0.4±0.2defg
Pyridalyl	UN ^{d)}	0.4±0.2bcd	0.4±0.2defg	1.0±0.5cdefg
Control	-	1.8±0.2a	2.6±0.2a	4.8±0.7a

^{a)}DAT means days after treatment.

^{b)}20DAT and 30DAT damaged fruit rates represent the cumulative damaged fruit rates after 10DAT.

^{c)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different at P < 0.05 by Duncan's multiple range test (R version, 4.3.3).

^{d)}UN = compounds of UNknown or UNCertain MOA.

Table 4. Comparative toxicity of seven insecticides against 5th-instar larvae of *H. assulta* using the dipping method

Insecticides	IRAC Mode of Action	Mortality (% , mean ± SE)		
		48 HAT ^{a)}	96 HAT	192 HAT
Etofenprox	3A	26.7±11.5cd ^{b)}	33.3±11.5c	46.7±11.5b
Spinetoram	5	46.7±11.5bc	60.0±0.0ab	80.0±0.0a
Emamectin benzoate	6	73.3±11.5a	73.3±11.5a	86.7±11.5a
Chlorfluazuron	15	46.7±11.5bc	46.7±11.5bc	66.7±11.5ab
Chlorantraniliprole	28	26.7±11.5cd	33.3±23.1c	80.0±20.0a
Fluxametamide	30	53.3±11.5b	66.7±11.5ab	80.0±20.0a
Pyridalyl	UN ^{c)}	46.7±11.5bc	46.7±11.5bc	73.3±11.5a
Control	-	6.7±11.5d	6.7±11.5d	13.3±11.5c

^{a)}HAT means hours after treatment.

^{b)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different at P < 0.05 by Duncan's multiple range test (R version, 4.3.3).

^{c)}UN = compounds of UNknown or UNCertain MOA.

traniliprole 2가지 성분은 90% 이상으로 우수한 섭식억제율을 나타내었으며, fluxametamide, pyridalyl 2가지 성분은 70% 이상의 섭식억제율을 나타내었다(Table 5).

Table 5. Comparison of feeding amounts in 5th-instar larvae of *H. assulta* treated with seven insecticides using the dipping method

Insecticides	IRAC Mode of Action	96 HAT ^{a)}	
		Feeding rate ^{b)} (% , mean±SE)	Feeding inhibition rate
Etofenprox	3A	54.1±3.0b ^{c)}	30.5
Spinetoram	5	31.9±6.0c	59.0
Emamectin benzoate	6	5.4±4.7e	93.1
Chlorfluazuron	15	32.0±4.2c	58.9
Chlorantraniliprole	28	2.1±1.6e	97.3
Fluxametamide	30	18.3±3.3d	76.5
Pyridalyl	UN ^{d)}	15.6±6.9d	79.9
Control	-	77.8±2.0a	-

^{a)}HAT means hours after treatment.

^{b)}Feeding rate (%) is the corrected feeding rate reflecting moisture loss in untreated diet.

^{c)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test (R version, 4.4.3).

^{d)}UN = compounds of UNknown or UNcertain MOA.

살충제 약효시험(포장/실내) 결과 분석

유충을 대상으로 한 실내시험 결과 중 약제별 섭식률(%)에 대한 효과는 포장시험에서 조사된 약제별 피해과율(%)에 대한 영향과 유사한 경향을 보였다(Table 3 & Table 5). 본 실내시험에서 5령 노령유충을 시험개체로 사용하였으며 이는, *H. armigera*의 5령 유충 섭식량이 4령 유충대비 3.5배 많은 것처럼(Browne et al., 2003), 노령 유충에 대한 효과가 실제 포장에서의 방제효과가 영향을 많이 줄 것이라는 가정에서이다.

대표적으로 diamides계(MoA : 28) chlorantraniliprole은 실내시험에서 97.3%의 가장 우수한 섭식억제율을 나타내었으며, 포장시험에도 최종 약제처리 30일 후 0.1%의 가장 낮은 피해과율을 나타내었다(Table 3 & Table 5). Diamides계 살충제는 곤충의 ryanodine 수용체(ryanodine receptor)에 작용해 근육수축과 섭식억제를 유도하는 기작을 가지며(Selby et al., 2013; Lee et al., 2022; Lin et al., 2024), 이러한 효과는 Fig. 4A에서 보듯 담배나방 노령 유충에서도 뚜렷하게 나타났다. 더불어 포장시험에서 28번 살충제 계통에 해당하는 diamides계 5종의 약제가 모두 1.0% 이하의 피해과율을 보인 점은, 이 계통의 약제가 담배나방 방제에 매우 효과적인 살충제군임을 시사한다.

Isoxazolines계(MoA : 30) 살충제인 fluxametamide는 실



Fig. 4. Photographs of mortality symptoms in 5th-instar larvae of *H. assulta* treated with different insecticides. Images were taken 96 hours after dipping treatment. A) muscle contraction induced by chlorantraniliprole; B) muscle cramping induced by fluxametamide; C) neuroparalysis induced by emamectin benzoate; D) untreated control. ^{a)}HAT means hours after treatment.

내시험에서 76.5%의 섭식억제율을 보였으며, 포장시험에서도 0.5%로 낮은 피해과율을 나타내었다(Table 3 & Table 5). Isoxazolines&meta-diamides계 살충제는 곤충 신경계에서 γ -aminobutyric acid (GABA)가 관여하는 염소채널 작용을 저해하여 신경교란을 일으키는 기작을 가지며(Asahi et al., 2018), Fig. 4B에서도 노령유충 대상 신경교란 및 근육경련 증상이 명확하게 관찰되었다. 30번 살충제 계통에 속하는 isoxazolines&meta-diamides계 3종 약제 모두 포장에서 1.0% 이하의 피해과율을 보인 점을 고려할 때, 30번 살충제 계통 또한 담배나방 유충 방제에 효과적인 계통으로 판단된다. 미분류로 표기된 pyridalyl은 실내시험에서 79.9%의 섭식억제율을 보였으며, 포장시험에서도 1.0%의 피해과율을 나타내었다(Table 3 & Table 5). 또한 실내시험에서 pyridalyl이 나타내는 표피 세포조직 괴사 증상(Ueda et al., 2005)이 노령 유충에서도 명확하게 관찰되어 pyridalyl 역시 담배나방 유충 방제에 효과적인 계통으로 판단된다.

Avermectins계(MoA : 6) 살충제인 emamectin benzoate는 실내시험에서는 93.1%의 높은 섭식억제율을 나타내었다(Table 5). Avermectins계 살충제는 곤충 신경계에서 glutamate가 관여하는 염소채널 작용을 저해하여 신경전달 억제 및 마비증상을 유도하는 작용기작을 가지며(Jansson et al., 1997; Xu et al., 2016), Fig. 4C에서 확인되듯이 노령 유충을 대상으로 작용특성이 명확하게 관찰되었다. 한편 포장시험에서는 1.1%의 누적 피해과율을 나타내어, 실내시험 대비 상대적으로 저조한 효과를 보였다. 이는 2022년 진행한 고추 총채벌레 방제연구에서 emamectin benzoate는 포장시험 결과가 실내시험 대비 저조한 효과를 보이는 것과 같이(Lee et al., 2022), 이 성분의 빠른 광분해 및 짧은 반감기(배추 중 1.34-1.72일, 비름 중 2일) 등 물리적 특성이 요인이 될 수 있다고 판단된다(Kim et al., 2013).

Pyrethroids계(MoA : 3A) 살충제인 etofenprox는 실내시험에서 가장 낮은 치사율(%)과 섭식억제율(%)을 보였으며(Table 3 & Table 5), 포장시험에서도 동일계통 약제인 deltamethrin, etofenprox는 각각 2.9%, 2.1%의 상대적으로 높은 누적 피

해과율을 나타내어 pyrethroids 계통 살충제는 담배나방에는 활성이 떨어지는 것으로 판단된다. 또한 곤충의 탈피를 저해하는 작용기작을 가진 benzoylureas계(MoA : 15) novaluron과 chlorfluazuron(IRAC, 2025), 곤충의 탈피를 촉진시키는 작용기작을 가진 diacylhydrazine계(MoA : 18) methoxyfenozide (IRAC, 2025) 등의 IGR (Insect Growth Regulators) 살충제와 곤충 신경계의 전압 개폐성 나트륨 채널을 차단하여 운동 마비, 섭식 억제, 무기력 증상을 일으키는 oxadiazindes계(MoA : 22A) indoxcarb, semicabazones계(MoA : 22B) metaflumizone (von Stein et al., 2013), 포장시험에서 모두 1.5% 이상의 누적 피해과율을 나타내었다. 하지만 IGR 살충제와 oxadiazindes계, semicabazones계 살충제들은 해외에서 파밤나방이나 열대 거세미나방 유충에 대한 효과가 다수 보고되어 있으며(Pineda et al., 2005; Hardke et al., 2011; Pang et al., 2012; Zhang et al., 2024), 본 연구결과와는 차이를 보였다. 이러한 차이는 지역별 약제사용 이력, 기후·환경 조건 등으로 인해 담배나방의 약제 감수성이 달라질 수 있기 때문이며, 따라서 국내 주요 고추 주산지별 담배나방 개체군을 대상으로 한 약효평가가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

담배나방 방제시기별 효과검정

노지포장에서 담배나방 적용약제의 방제종료 시기를 다르게 적용한 결과는 Table 6와 같았다. 7월 중순부터 방제를 시작하여 8월 하순(8월 23일)까지 방제를 지속한 경우 9월 중순(9월 12일)과 9월 하순(9월 22일) 각각 91.9%, 93.8%의 높은 방제효과를 보였으며, 8월 중순(8월 13일)까지 방제를 지속한 경우 9월 중순, 9월 하순 각각 81.8%, 84.7%의 상대적으로 저조한 방제효과를 나타내었다.

노지고추 재배에서 해충방제는 해충의 발생시기와 밀접하게 연계되어야 하며, 특히 적절한 방제시기의 설정은 피해를 최소화하는 데 매우 중요하다(Lee et al., 2022). 고추는 연속수확형 작물로, 일반적으로 3회에서 최대 5회 이상 수확이 가능하며, 특히 9월 중·하순에는 착과 수가 증가하여 전체

Table 6. Control efficacy of insecticide rotation with different application schedules for *H. assulta* in open fields of red pepper

Application time for <i>H. assulta</i> control						September 12		September 22	
7/13	7/23	8/2	8/13	8/23	9/2	Damaged fruit rate (%, mean ± SE)	Control value (%)	Damaged fruit rate (%, mean ± SE)	Control value (%)
R1 ^{a)}	R2	R3	X ^{b)}	X	X	7.2±3.5a ^{c)}	4.8	14.1±7.8a	14.0
R1	R2	R3	R4	X	X	1.4±0.3b	81.8	2.5±0.6b	84.7
R1	R2	R3	R4	R5	X	0.6±0.3b	91.9	1.0±0.6b	93.8
R1	R2	R3	R4	R5	R6	0.6±0.6b	91.8	1.0±0.7b	94.0
Control						7.5±1.1a	-	16.4±1.5a	-

^{a)}R means insecticide rotation. R1 ~ R6 are insecticides used to control *H. assulta*(R1, Flubendiamide 20% SC; R2, Broflanilide 5% EC; R3, Flubendiamide 20% SC; R4, Fluxametamide 9% EC; R5, Chlorantraniliprole 5% WG; R6, Indoxcarb 5% DC).

^{b)}X : Not sprayed.

^{c)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different at P < 0.05 by Duncan's multiple range test (R version, 4.3.3).

Table 7. Control efficacy of insecticide rotation with different spraying intervals for *H. assuta* in open fields of red pepper

Insecticide rotation ^{a)} intervals (days)	September 12		September 22	
	Damaged fruit rate (%, mean±SE)	Control value (%)	Damaged fruit rate (%, mean ± SE)	Control value (%)
7 days	0.0±0.0c ^{b)}	100.0	0.8±1.4c	95.1
10 days	0.1±0.1c	99.3	0.7±0.4c	95.9
14 days	2.9±1.0b	62.3	3.7±0.6b	77.4
21 days	2.7±1.3b	65.2	3.8±0.9b	76.5
Control	7.6±1.9a	-	16.2±2.2a	-

^{a)}Insecticide rotation was repeated as 1st, Flubendiamide 20% SC; 2nd, Fluxametamide 9% EC; 3rd, Chlorantraniliprole 5% WG; 4th, Indoxacarb 5% DC. The first insecticide application for all spraying intervals (7-day, 10-day, 14-day, and 21-day) began on July 13, 2024.

^{b)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test (R version, 4.3.3).

수량에서 높은 비중을 차지하는 경향이 있다(Hwang and Jung, 2003). 그러나 최근에는 9월 담배나방의 발생밀도 증가로 인해 피해과율(%)이 높아지는 추세를 보이고 있다. 이에 따라 최종 방제시기의 설정은 수량 손실을 최소화하기 위한 핵심요소로 작용한다. 본 연구 결과, 8월 하순까지 방제를 지속할 경우 9월 중·하순의 피해과율을 1% 이하로 억제할 수 있었으며, 이는 수확기의 수량확보에 효과적인 전략으로 판단된다. 따라서 고추 재배농가에서는 수확 전 “농약안전 사용기준”을 준수한 약제살포와 더불어, 담배나방의 발생시기를 고려한 최종 방제 시기 설정이 필요하며, 이에 대한 기술적 안내와 교육이 병행되어야 한다.

담배나방 약제처리 간격별 효과검정

노지포장에서 담배나방 적용약제의 처리간격을 다르게 적용한 결과는 Table 7와 같았다. 7월 중순부터 방제를 시작하여 10일 간격으로 방제를 지속한 경우 9월 중순(9월 12일)과 9월 하순(9월 22일) 각각 99.3%, 95.9%의 높은 방제효과를 보였으나, 14일 간격으로 방제를 방제를 지속한 경우 9월 중순, 9월 하순 각각 62.3%, 77.4%의 저조한 방제효과를 나타내었다. 이러한 결과는 해충 방제에서 살포 간격이 방제 효과에 중요한 영향을 미치는 요소임을 시사하며 (Miranda et al., 2021; Lee et al., 2022; Lee et al., 2024), 고추 재배 시 적절한 방제 간격 설정의 필요성을 보여준다.

한편, 지역 고추 재배농가의 관행적 방제패턴을 조사한 결과, 7월부터 첫 수확이 이루어지는 8월 상순까지는 주로 탄저병 방제를 목적으로 7~10일 간격으로 약제를 살포하나, 첫 수확 이후에는 방제 간격이 10일 이상으로 길어지는 경향이 있었다. 본 연구에서는 10일 간격과 14일 간격 처리구 간에 9월 하순 기준 3.0%의 피해과율 차이가 발생하였으며, 이러한 차이는 약제의 잔효성(residual efficacy)과 이동 특성, 즉 침달성(translaminar activity) 및 침투이행성(systemic activity) 등 요인에 기인하는 것으로 판단된다(Adams et al., 2016). 따라서 담배나방의 효과적인 방제를 위해서는 발생밀도가

높은 8월 하순까지 방제를 지속하는 것뿐만 아니라, 살포 간격을 10일 이내로 유지하는 것이 고추 재배지의 피해 최소화에 효과적인 방제전략으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 지역특화작목 기술개발사업(과제번호: RS-2022-RD010407)에 의해 수행한 “지역특화 재래종 고추의 소비확대를 위한 고품질 안전생산 및 부가가치 향상 기술 개발” 과제로 수행되었습니다.

Author Information and Contributions

Dae-hong Lee, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-9749-3432>, Research design, Investigation, Data analysis, Writing original draft preparation

Seong-im Park, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Ph.D., Data analysis

Hyo-jin Lee, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Master, Data analysis

Kil-su Jang, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Master, Data analysis

Hyun-suk Cho, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Ph.D., Data analysis

Oh-hun Kwon, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Master, Investigation, Data analysis

Sang-seok Lee, Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-9749-3432>, Writing- review and Editing

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- Adams A, Gore J, Catchot A, Musser F, Cook D, et al., 2016. Residual and systemic efficacy of chlorantraniliprole and flubendiamide against corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean. *J. Econ. Entomol.* 109(6):2411-2417.
- Asahi M, Kobayashi M, Kagami T, Nakahira K, Furukawa Y, et al., 2018. Fluxametamide: a novel isoxazoline insecticide that acts via a distinctive antagonism of insect ligand-gated chloride channels. *Pestic. Biochem. Physiol.* 151:67-72.
- Baek S, Cho K, Song YH, Lee JH, et al., 2008. Degree-day based models for forecasting the flight activity of adult *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) in hot pepper fields. *Int. J. Pest Manage.* 54(4):295-300.
- Boo KS, Park KC, Hall DR, Cork A, Mustaparta H, et al., 1995. (Z)-9-tetradecenal: a potent inhibitor of pheromone-mediated communication in the oriental tobacco budworm moth, *Helicoverpa assulta*. *J. of Comparative Physiology A.* 177:695-699.
- Bowler K, Terblanche JS, 2008. Insect thermal tolerance: what is the role of ontogeny, ageing and senescence? *Biol. Rev.* 83(3):339-355.
- Browne LB, Raubenheimer D. 2003. Ontogenetic changes in the rate of ingestion and estimates of food consumption in fourth and fifth instar *Helicoverpa armigera* caterpillars. *Journal of Insect Physiology* 49(1):63-71
- Chen WH, Itza B, Kafle L, Chang TY, 2023. Life table study of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (Lepidoptera: Noctuidae) on three host plants under laboratory conditions. *Insects* 14(4):329.
- Denlinger DL, Yocum GD, 1998. Physiology of heat sensitivity. In: Hallman GJ, Denlinger DL (Eds.). *Temperature sensitivity in insects*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 7-54.
- Dong L, Wang K, Li Y, Wang S, 2017. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 136:58-63.
- Han MW, Lee JH, Son JS, 1994. Intra and inter plant distribution of *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs in red pepper and tobacco fields. *Korean J. Appl. Entomol.* 33:6-11. (In Korean)
- Han MW, Lee JH, Lee MH, 1993. Effect of temperature on development of oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* Guenee. *Korean. J. Appl. Entomol.* 32(2), 236-244. (In Korean)
- Hardke JT, Temple JH, Leonard BR, Jackson RE, 2011. Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Fla. Entomol.* 94(2):272-278.
- Hemati SA, Naseri B, Ganbalani GN, Dastjerdi HR, Golizadeh A, 2012. Effect of different host plants on nutritional indices of the pod borer, *Helicoverpa armigera*. *J. Insect Sci.* 12(1):55.
- Hill DS, 1983. *Agricultural insect pests of the tropics and their control*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hwang CY, Choi KM, Park JS, 1987. Studies on bionomics of the oriental tobacco budworm, *Heliothis assulta* Guenee. *Res. Rept. RDA.* 29:95-113. (In Korean)
- Hwang JM, Chung KM, 2003. Red fruit yield and quality by harvest frequencies and dates in pepper. *Hortic. Sci. Technol.* 21(4):255-259. (In Korean)
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), 2025. The IRAC mode of action classification online <https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/> (Accessed July 30, 2025).
- Jadhav DR, Armes NJ, 1996. Comparative status of insecticide resistance in the *Helicoverpa* and *Heliothis* species (Lepidoptera: Noctuidae) of south India. *Bulletin of Entomological Research.* 86(5):525-531.
- Jansson RK, Brown R, Cartwright B, Cox D, Dunbar DM, et al., 1997. Emamectin benzoate: a novel avermectin derivative for control of lepidopterous pests. In: *Vegetable Pest Management*, pp. 1-7.
- Jung IH, 2020. Occurrence Survey of Three Moth Species (*Spodoptera litura*, *Spodoptera exigua*, and *Helicoverpa assulta*). Rural Development Administration (RDA). Jeonju. Korea.
- Kim JH, Byeon YW, Choi MY, Ji CW, Heo SY, et al., 2012a. Control efficacy of natural enemies on four arthropod pests found in greenhouse red pepper. *Korean J. Appl. Entomol.* 51(2):83-90. (In Korean)
- Kim HJ, Bae SD, Yoon YN, Oh IS, Park JK, 2012b. Seasonal occurrence patterns of *Helicoverpa armigera* and *Spodoptera litura* adults attracted to sex pheromone traps in Miryang over a decade. 2012 Fall Conference of the Korean Society of Applied Entomology, YongPyong, Korea. 24-25 Oct. p. 143.
- Kim JK, Kim DS, Heo SJ, Ham HJ, Hur JH, 2013. Establishment of pre-harvest residue limit (PHRL) of emamectin benzoate during cultivation of amaranth. *Korean J. Pestic. Sci.* 17(2):77-83. (In Korean)
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2025. 2025 Agricultural and Farm Economy Trends and Outlook. https://aglook.krei.re.kr/upload/event/pdf/2025/report/out25_chapter01.pdf (Accessed June. 30. 2025). (In Korean)
- Kwon M, Kim J, Maharjan R, Choi JY, Kim GH, 2017. Change in the distribution of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 20(4):1249-1253.
- Kwon OH, 2019. Control timing for reducing damage of *Helicoverpa assulta* in open-field red peppers. Gyeongsangbukdo Agricultural Research and Extension Services (GARES). Daegu. Korea.
- Lee DH, Kim CY, Kim KS, Shin JH, Jang KS, et al., 2022. Seasonal occurrence and management strategies for thrips

- on red pepper in northern Gyeongbuk Province. Korean J. Pestic. Sci. 26(4):288-299. (In Korean)
- Lee DH, Kwon OH, Kwon MJ, Park SI, Cho HS, et al., 2024. Seasonal occurrences and management strategies for aphids on red pepper in Yeongyang-gun, Gyeongbuk Province. Korean J. Pestic. Sci. 28(2):113-126. (In Korean)
- Lee HS, Tran TT, Ahn YJ, 2006. Oviposition-stimulating activity of (E)-capsaicin identified in *Capsicum annuum* fruit and related compounds towards *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Asia-Pac. Entomol. 16:153-157.
- Lin L, Wang C, Wang W, Jiang H, Murayama T, et al., 2024. Cryo-EM structures of ryanodine receptors and diamide insecticides reveal the mechanisms of selectivity and resistance. Nat. Commun. 15:9056.
- Liu Z, Xin Y, Zhang Y, Fan J, Sun J, 2016. Summer diapause induced by high temperatures in the oriental tobacco budworm: ecological adaptation to hot summers. Scientific Reports. 6:27443.
- Miranda MP, Scapin MS, Vizoni MC, Zanardi OZ, Volpe HXL, et al., 2021. Spray volumes and frequencies of insecticide applications for suppressing *Diaphorina citri* populations in orchards. Crop Prot. 140:105406.
- Mitter C, Poole RW, Matthews M, 1993. Biosystematics of the Heliiothinae (Lepidoptera: Noctuidae). Annu. Review Entomol. 38:207-225.
- Moon HC, Cho IK, Im JR, Goh BR, Kim DH, et al., 2006. Seasonal occurrence and damage by thrips on open red pepper in Jeonbuk province. Korean J. Appl. Entomol. 45(1):9-13. (In Korean)
- Pang S, You W, Duan L, Song X, Wang C, et al., 2012. Resistance selection and mechanisms of oriental tobacco budworm (*Helicoverpa assulta* Guenee) to indoxacarb. Pesticide Biochemistry and Physiology. 103(3):219-223.
- Park HY, 2020. Ecology and damage information of the oriental tobacco budworm (*Helicoverpa assulta*) on red peppers. Rural Development Administration (RDA). Jeonju. Korea.
- Park KC, Cork A, Boo KS, 1996. Intrapopulation changes in sex pheromone composition during scotophase in oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). J. Chem. Ecol. 22(6):1201-1210.
- Pineda S, Budia F, Schneider MI, Gobbi A, Viñuela E, et al., 2005. Effects of two biorational insecticides, spinosad and methoxy fenozide, on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. J. Econ. Entomol. 97(6):1906-1911.
- Regional Speciality Crop Improvement Association (ReSCIA). 2024. Survey on regionally specialized crops. http://rescia.org/bbs/board.php?bo_table=publish (Accessed Aug. 20. 2025). (In Korean)
- Rural Development Administration (RDA), 2025. Pesticide searching. <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps?menuId=PS00263> (Accessed May 31. 2025). (In Korean)
- Sampaio F, Krechemer FS, Marchioro CA, 2021. The hotter the better? Climate change and voltinism of *Spodoptera eridania* estimated with different methods. J. Therm. Biol. 98.
- Selby TP, Lahm GP, Stevenson TM, Hughes KA, Cordova D, et al., 2013. Discovery of cyantraniliprole, a potent and selective anthranilic diamide ryanodine receptor activator with cross-spectrum insecticidal activity. Bioorg. Med. Chem. Lett. 23(23):6341-6345.
- Seo MH, Lee SC, Yang CY, Yoon JB, Park J, 2018. Monitoring occurrence status of thrips populations on field-cultivated pepper at major cultivated region in west coast, Korea. Korean J. Environ. Biol. 36(4):544-549. (In Korean)
- Statistics Korea (KOSTAT). 2024. 2024 Survey on Cultivation Area of Rice and Red Pepper. https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=229&tag=&act=view&list_no=432376 (Accessed May. 31. 2025). (In Korean)
- Ueda N, Umeda K, Matsuo S, Haga T, Fujisawa T, et al., 2005. Research and development of a novel insecticide 'pyridalyl'. Sumitomo Chem. R&D Report 1:1-20.
- Ullah MI, Arshad M, Afzal M, Khalid S, Saleem M, et al., 2016. Incidence of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and its feeding potential on various citrus (Sapindales: Rutaceae) cultivars in the Sargodha Region of Pakistan. Fla. Entomol. 99(2):192-195.
- von Stein RT, Silver KS, Soderlund DM, 2013. Indoxacarb, metaflumizone, and other sodium channel inhibitor insecticides: mechanism and site of action on mammalian voltage-gated sodium channels. Pestic. Biochem. Physiol. 106(3):101-112.
- Wang KY, Zhang Y, Wang HY, Xia XM, Liu TX, 2008. Biology and life table studies of the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae), influenced by different larval diets. Insect Sci. 15(6):569-576.
- Wang P, Yang F, Wang Y, Zhou LL, Si SY, 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.
- Wu KJ, Gong PY, Yuan YM, 2006. Is tomato plant the host of the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Guenée). Acta Entomologica Sinica. 49(3):421-427.
- Xia XM, Wang KU, Wang HY, 2009. Resistance of *Helicoverpa assulta* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae) to fenvalerate, phoxim and methomyl in China. Crop Protection. 28(2):162-167.
- Xu X, Sepich C, Lukas RJ, Zhu G, Chang Y, 2016. Emamectin is a non-selective allosteric activator of nicotinic acetylcholine receptors and GABAA/C receptor. Biochem. Biophys. Res. Commun. 473(4):795-800.
- Yang CY, Jeon HY, Cho MR, Kim DS, Yiem MS, 2004. Seasonal occurrence of oriental budworm (Lepidoptera: Noctuidae) male and chemical control at red pepper fields. Korean. J. Appl. Entomol. 43(1):49-54. (In Korean)
- Zhang L, Wu HZ, He PY, Cao HQ, Zhang WN, et al., 2024. Sublethal effect and detoxifying metabolism of metaflumizone and indoxacarb on the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Pestic. Biochem. Physiol. 201:105879.

경북 북부지역 노지고추 담배나방 발생양상 및 방제전략

이대홍¹ · 박성임¹ · 이효진¹ · 장길수¹ · 조현석¹ · 권오훈² · 이상석^{1*}

¹경북농업기술원 영양고추연구소, ²경북농업기술원 유기농업연구소

요약 경북 북부지역 노지고추 재배지에서 담배나방(*Helicoverpa assulta*)의 연중 발생양상과 기후변화에 따른 세대 증가추세를 분석하고, 주요 살충제의 효과를 검증하여 방제전략 수립에 활용하고자 본 연구를 수행하였다. 영양지역의 성충 발생최성기 조사 결과, 2016년, 2017년에는 6월 3주~4주차에 1세대, 7월 4주에 2세대, 8월 4주~9월 1주 3세대 발생최성기를 나타내었으나, 2023년, 2024년에는 6월 3주~5주차 1세대, 8월 1주에 2세대, 8월 4주~9월 1주에 3세대, 9월 3주에 4세대 발생최성기를 나타내어 기후변화로 인한 세대수 증가가 관찰되었다. 노지포장에서 20약종의 담배나방 적용 살충제 효과검정 결과, 작용기작(mode of Action) 28번인 살충제 5종(chlorantraniliprole, flubendiamide, cyantraniliprole, cyclaniliprole, tetraniliprole), 작용기작 30번인 살충제 3종(broflanilide, fluxametamide, isocloseram), 미분류 작용기작인 pyridalyl은 30일 후 누적 피해과율이 1.0% 이하로 낮게 나타났으며, 5령 유충을 대상으로 한 실내시험에서는 emamectin benzoate, chlorantraniliprole, fluxametamide, pyridalyl 4가지 성분은 70% 이상의 섭식억제를 나타내었다. 방제 종료시기별 교호살포(rotation) 효과검토 결과, 8월 하순까지 방제를 지속할 경우 9월 중순과 9월 하순 각각 91.9%, 93.8%의 높은 방제효과를 보였다. 약제처리 간격별 효과검토 결과, 10일 간격 처리시 9월 중순과 9월 하순 각각 99.3%, 95.9%의 높은 방제효과를 보였다. 따라서 경북 북부지역 고추 담배나방의 효과적인 방제를 위해서는 7월 중순부터 8월 하순까지 지속적인 방제와 10일 간격의 살포 전략이 필요하며, 지역 개체별 효과가 우수한 약제의 교호살포가 고려되어야 한다.

검색어: 고추, 담배나방, 모니터링, 살충제, 방제