

꽃노랑총채벌레 종합방제 - 화학농약 처리 후 안정적 천적 투입 시기

김철영 · 이동현 · 이동희¹ · 함은혜² · 김용균*

안동대학교 식물위학과, ¹안동대학교 산학협력단, ²(주)오상킨섹트

Integral Pest Management of the Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis*. Optimal Time to Introduce a Natural Predator after Chemical Insecticide Treatment

Chulyoung Kim, Donghyun Lee, Donghee Lee¹, Eunhye Ham² and Yonggyun Kim*

Department of Plant Medicals, Andong National University, Andong 36729, Korea

¹Industry Academy Cooperation Foundation, Andong National University, Andong 36729, Korea

²Institute for Bioresources, Osangkinsect Co., Ltd., Guri 11921, Korea

ABSTRACT: The western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, infests the hot pepper cultivated in greenhouses and has been considered to be controlled by a natural enemy, *Orius laevigatus*. However, sporadic outbreaks of the thrips due to fast population growth occasionally need chemical insecticide treatments. This study was designed to develop an optimal integrated pest management (IPM) by using selective insecticides along with a safe re-introduction technique of the natural enemy after the chemical insecticide treatment. First, chemical insecticides were screened to select the high toxic commercial products against *F. occidentalis*. Five insecticides containing active components (pyriproxyfen+spinetoram, abamectin, spinosad, acetamiprid, and chlorpyrifos) were selected among 17 commercial products. These five selected insecticides gave different toxic properties to the natural enemy, *O. laevigatus*. Especially, abamectin and spinetoram gave relatively low toxicity to the natural enemy compared to organophosphate or neonicotinoid. Furthermore, the five selected insecticides were assessed in their residual toxicities against *O. laevigatus*. Organophosphate and neonicotinoid insecticides showed relatively longer residual toxicity compared to abamectin and spinosads. Indeed, abamectin or spinetoram did not give any significant toxicity to *O. laevigatus* after 3 days post-treatment. These residual effects were further supported by the assessment of the chemical residue analysis of the insecticides using LC-MS/MS. These results suggest an IPM technology: (1) chemical treatment of abamectin or spinetoram against sporadic outbreaks of *F. occidentalis* infesting hot pepper and (2) re-introduction of *O. laevigatus* to the crops after 3 days post-treatment to depress the equilibrium density below an economic injury level.

Key words: *Frankliniella occidentalis*, *Orius laevigatus*, Chemical insecticide, Natural enemy, Insect pest management

초 록: 시설재배지 고추를 가해하는 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)를 대상으로 미끌애꽃노린재(*Orius laevigatus*)를 이용한 생물적 방제가 검토되고 있다. 그러나 대상 해충의 빠른 집단 성장은 화학 살충제의 투입이 때에 따라 요구된다. 본 연구는 화학 살충제와 천적의 이상적 종합방제를 구현하기 위한 목적으로 선택성이 높은 살충제 선발 및 이들 살충제 처리 이후 미끌애꽃노린재의 안전한 재투입 시기를 결정하기 위해 수행되었다. 첫째로 꽃노랑총채벌레에 방제 효과가 높은 상용 살충제가 선발되었다. 총 17종류의 상용 살충제 가운데 5종류(pyriproxyfen+spinetoram, abamectin, spinosad, acetamiprid, chlorpyrifos) 주성분을 갖는 상용 살충제가 꽃노랑총채벌레에 우수한 방제효과를 주는 약제로 선발되었다. 이들 5종류의 살충제에 대해서 미끌애꽃노린재의 감수성 반응은 꽃노랑총채벌레와 상이하였다. 특별히 아바멕틴과 스피네토람이 유기인계 또는 네오니코티노이드에 비해 상대적으로 낮은 독성을 보였다. 이들 5종류의 살충제 처리 이후 잔류 독성을 미끌애꽃노린재를 이용하여 생물검정한 결과 유기인계 및 네오니코티노이드 약제는 비교적 오랜 기간 독성을 유지하지만, 아바멕틴과 스피네토람 약제의 경우 3일 이후에는 대상 천적에 피해를 주지 않는 것으로 나타났다. 이러한 잔류독성결과는 LC-MS/MS를 이용한 농약 잔류량 화학분석을 통해 뒷받침되었다. 이상의 결과는 높은 밀도로 증가한 꽃노랑총채벌레에 대해서 이 해충에 살충성이 높은 아바멕틴 또는 스피네토람의 약제를 살포하고 이후 3일 지나 미끌애꽃노린재의 투입을 통해 대상 해충의 평균 밀도를 경제적피해수준 이하로 유지할 수 있다는 종합방제 기술을 제시하고 있다.

검색어: 꽃노랑총채벌레, 미끌애꽃노린재, 화학 살충제, 천적, 해충종합방제

*Corresponding author: hosanna@anu.ac.kr

Received June 25 2022; Revised August 29 2022

Accepted September 7 2022

진딧물, 가루이 및 총채벌레와 같은 미소 곤충류가 높은 생식력과 빠른 증식 속도를 기반으로 문제 해충으로 등장하였다. 더욱이 온대지역에서 시설재배지의 확대로 이들의 월동집단의 증가는 이듬해 발생 초기 밀도를 증가시켜 특정 지역의 연중 환경조건과 맞물려 돌발해충으로 주목받게 되었다. 이러한 해충 가운데 대표적으로 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)가 포함된다.

꽃노랑총채벌레는 전 세계적으로 광범위하게 분포하며 채소, 과일, 화훼 등 원예 농작물에 심각한 피해를 주는 해충이다(Lacasa and Liorens, 1996; Reitz et al., 2020). 또한 다른 불완전변태 곤충과 같이 미성숙 및 성숙 발육태 모두가 왕성한 섭식 활동으로 작물에게 직접적 피해를 주고 있다(Kirk and Terrt, 2003; Demirozer et al, 2012). 또한 간접적 피해로서 토마토위조반점바이러스(TSWV: tomato spotted wilt virus)를 매개하여 경제적 손실을 가중시키고 있다(Pappu et al., 2009; Webster et al., 2011; Zhao et al., 2014).

이 해충이 가해하는 다양한 기주 가운데 고추는 주요 양념 채소류 가운데 하나이다. 국내 연간 고추 생산량은 2021년도 기준으로 92,756톤인데 이 가운데 26.6%가 안동을 중심으로 하는 경북 지역에서 생산되고 있다(KOSIS, 2021). 노지 고추는 물론이고 시설재배지에서 재배되는 고추가 전체에서 큰 비중을 차지하고 있다. 안동지역 시설재배지의 경우 고추를 가해하는 두 가지 주요 총채벌레는 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레로서 이들의 발생 밀도는 전체 총채벌레 가운데 99%에 이른다(Kim et al., 2022). 이 시설재배지의 경우 크게 2회의 성충 발생 피크를 갖는다. 첫 발생피크는 6월에 정점을 이루고 있으며, 두 번째 발생 피크는 9월에 있다. 이들 사이 7-8월의 여름기간 동안 시설재배지의 40℃ 이상의 고온이 이들 총채벌레 발육을 억제하는 것으로 온도 발육 결과는 보여주고 있다. 이들 총채벌레들은 TSWV에 감염되어 있으며 연중 최저 4%에서 최고 31%의 보독율 변이를 나타냈다(Kim et al., 2022). 따라서 국내 시설재배지 고추에 총채벌레는 직간접적 피해를 주는 위험 요인으로 평가된다.

이 해충을 방제하기 위해 다양한 화학 살충제가 등록되어 사용되고 있다. 실내 조건에서 직접 또는 먹이를 통한 간접 접촉을 통해 이들 상용 약제들은 높은 방제 효과를 보이고 있다(Cho et al., 2018). 그러나 야외 작물 생육 조건에서 이들 화학 약제의 처리는 기대 이하의 방제 효과를 줄 수 있다. 이러한 이유는 이 해충의 좁은 틈 속에 끼어들어 살아가는 행동으로 살포된 화학 농약과의 직접적 접촉이 낮아져 나타날 수 있다. 또한 이 해충의 살충제 저항성 발달과 관련이 있다(Zhang et al., 2019). 이러한 약제 저항성 발달은 총채벌레가 갖는 생물학적 특성으로부터 쉽게 유추될 수 있다. 즉, 생식 다양성으로 양성생식은 물론이고 교미하

는 데 시간과 에너지를 소비하지 않으면서 자손을 번식시킬 수 있는 단성생식, 그리고 불과 10일 내외의 빠른 생활사는 저항성 개체의 선발과 이들의 밀도 증가가 단시간에 가능하게 하였다. 이러한 살충제 저항성은 비교적 방제에 널리 이용되었던 스피노사드(spinosad)에 대해 잘 알려져 있다(Bielza et al., 2007). 이 약제에 대한 저항성 기작으로 작용점 변화가 주목받고 있다. 이는 스피노사드 약제의 작용점인 nicotinate acetylcholine receptor (nAChR)에서 일부 단위체($\alpha 6$)에서 점돌연변이에 의해 아미노산이 치환되어(Gly \rightarrow Glu) 유발된 것으로 알려졌다(Puinean et al., 2013). 더불어 비교적 작용점이 상이한 약제 사이에 교차저항성을 나타내 단일산화효소와 같은 약제 대사를 촉진하는 반응에 기반한 해독효소 활성 증가도 이러한 약제 저항성에 관여하는 것으로 보인다(Espinosa et al., 2005).

총채벌레 방제에 대한 이러한 화학적 방제의 어려움을 극복하기 위한 대체 기술로 천적을 통한 생물적 방제 기술이 활용되고 있다. 이 가운데 미끌애꽃노린재(*Orius laevigatus*)는 총채벌레에 특히 효과가 탁월하다(Ballal and Yamada, 2016). 더욱이 일부 화학 살충제(methoxyfenozide와 flonicamid)가 미끌애꽃노린재 또는 이리응애(*Amblyseius swirskii*)에 대해서 독성이 낮아 이들 혼합 방제가 동시에 가능하다는 연구 결과가 있다(Colomer et al., 2011). 이러한 천적류에 추가적으로 총채벌레의 특이적 발육태를 공격할 수 있는 뿌리이리응애(*Stratiolaelaps scimitus*)를 적용하여 무처리구 대비 약 74.9%의 방제효과를 이끌었다(Jung et al., 2019). 더욱이 나비목 해충에 특이적으로 단백질 합성을 억제하여 살충효과를 주는 pydaryl과 같은 선택적 약제는 천적류 또는 꿀벌에 대한 독성이 없고 인축 피해도 없다는 연구 결과도 있어 화학약제와 천적의 병행 처리는 불가능하여 보이지 않는다(Isayama et al., 2005).

그러나 급격한 꽃노랑총채벌레의 밀도 증가는 때에 따라 생물적 방제만으로는 억제를 할 수 없어 불가피하게 화학적 방제를 추가할 필요가 있으며, 자연히 천적에게도 영향을 주게 된다(Angeli et al., 2005). 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 화학 약제와 생물적 방제제의 이상적 종합방제를 구현하기 위해 수행되었다. 이를 위해 고추 재배지에 발생한 꽃노랑총채벌레에 유효한 화학 상용 약제를 선발하였다. 선발된 약제들을 바탕으로 미끌애꽃노린재를 대상으로 감수성 차이를 구분하였다. 이후 이들 약제를 대상으로 시설재배지에서 잔류성을 생물검정 및 화학분석을 통해 분석하였다. 이를 통해 총채벌레 방제에 유효하면서 천적에 안전한 약제를 선발하고, 이들 약제를 처리한 후 천적을 안전하게 재투입하는 시기를 결정하여 시설재배지 총채벌레 종합방제에 필요한 기반 자료를 구축하고자 하였다.

재료 및 방법

공시충 사육

꽃노랑총채벌레는 국립농업과학원(전주)에서 분양받아 증식시켰다. 사육 환경조건은 온도 $25\pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $65\pm 5\%$, 14시간 광주기 조건을 유지하였다. 원형 사육용기(지름 100 mm, 높이 40 mm)에 알부터 성충까지 사육하였으며, 5일 동안 발아시킨 강낭콩(*Phaseolus coccineus*)을 유충과 성충의 먹이로 제공하였다. 미끌애꽃노린재는 오상킨섹트(구리)에서 제공받아 상기 사육환경 조건에서 배양시켰다. 이 성충을 사육용기(지름 160 mm, 높이 250 mm)에 돌나물(*Sedum sarmentosum*)을 산란 기주로 투입하여 알을 받고 다시 3일 경과 후 새로운 사육용기에 옮겨 세대를 유지하였다. 천적의 먹이는 생물이용연구소(안동)에서 분양 받은 기장테두리진딧물(*Rhopalosiphum padi*)를 제공하였다.

농약제조 및 살포

상용 살충제 17개(Table S1)를 권장농도로 조제하였다. 곤충사육용기(Model 310050, SPL Life Science, Sungnam, Korea)에 여과지를 깔아준 뒤에 증류수를 처리하여 습도를 유지하였다. 이 여과지 위에 파라필름(Parafilm M, Bemis, WI, USA)을 올려 꽃노랑총채벌레의 침지를 막았다. 우화 후 48시간이 지난 꽃노랑총채벌레 암컷 10마리를 시험용기에 옮겼다. 소형 분무기(100 mL, 투명스프레이, 친우코렉트, 인천)를 이용하여 총채벌레가 담긴 용기에 1 mL의 처리 약제를 분무하였다. 대조구는 동일한 부피의 물을 분무하였다. 분무 후 강낭콩 반쪽을 먹이로 넣고, 일정 시간(24, 48, 72 시간) 경과 후 치사 개체를 계수하였다. 시험용기에 담긴 10마리의 총채벌레가 시험구로 각 처리 농도는 3반복으로 분석하였다.

온실재배지 농약살포

선발된 2개의 농약 T7과 T12를 45주의 홍고추(한림 품종)와 45주의 파리고추(녹광 품종)를 재배하고 있는 온실에서 분무기를 이용하여 각 품종별 20 L씩 분무하였다. 대조구는 물을 분무하였다. 분무하기 전에 꽃노랑총채벌레는 주당 100마리 이상 유지하였다. 처리 후 3, 5, 7일 동안 꽃노랑총채벌레의 생존수를 조사하였다.

진류농약 천적 위해성 평가

온실 조건에서 재배되는 고추에 선발된 5가지 살충제를 소

정의 농도로 제조하여 각 고추에 약 250 mL의 부피로 분무하였다. 살포 후 24, 48, 72, 96시간 간격으로 약제 처리된 잎을 수거하여 생물검정 및 화학분석(아래 참조)에 이용하였다. 곤충사육용기에 여과지를 바닥에 깔고 1 mL의 증류수로 첨가하여 습도를 유지하였다. 여기에 수거한 고추잎(지름 65 mm)을 넣고 10마리의 성충 미끌애꽃노린재를 방사했다. 먹이로 약 100마리 이상의 기장테두리진딧물을 처리 고추잎 위에 올려 놓았다. 이후 3일 동안 24시간 마다 살충율을 조사했다.

LC-MS/MS를 이용한 진류농약 화학분석

상기에서 주기적으로 수거된 고추잎은 AnA-Q 키트(QuEChERS Kit, 한국분석기술연구소, 대전)를 이용하여 전처리하였다. 간략하게 이 전처리 과정을 기술하면, 고추잎 5g을 액체질소를 이용하여 분쇄 후에 acetonitrile (Sigma-Aldrich Korea, 서울) 10 mL을 추가한 뒤에 1분 동안 진탕 추출을 진행했다. 키트에 포함된 추출염을 넣고 1분 동안 다시 진탕 추출을 실시하였다. 진탕된 시료를 3,000 rpm에서 5분 동안 원심분리하였다. 상층액을 0.2 μm 필터를 이용해 세균을 제거하였다. 분리된 상층액을 정제염을 넣고 1분 동안 다시 진탕 처리 후 10,000 rpm에서 2분 동안 원심분리 후 상층액을 다시 상기 필터로 걸러낸 후 키트에 동봉된 마이크로튜브에 옮겨주었다. 추출된 시료는 LC-MS/MS 분석에 이용하였다.

질량분석기를 이용하여 분석할 때 시료 매트릭스에 의한 영향을 최소화하기 위해 매트릭스정검량선(matrix-matched calibration)을 이용하였다. 대조구는 acetonitrile을 이용하였다. 기기분석을 위한 기기는 liquid chromatography (LC, Nanospace, Osaka Soda, Sweden), mass spectrometer detector (MS, QTRAP4500, Sciex, MA, USA)을 이용하였다. 세부적 기기 분석 조건은 Table S2와 S3에 수록하였다.

통계분석

처리 효과는 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 1989)을 이용하여 분산분석을 실시하였다. 처리 평균간 비교는 LSD 방법을 이용하여 제I형 오류 확률 0.05를 기준으로 판별하였다.

결 과

총채벌레 방제용 살충제 스크리닝

시판되는 17가지 농약(Table S1)을 대상으로 꽃노랑총채벌

레의 감수성을 비교하였다. 약제 처리는 각 제품의 권장농도로 제조하여 처리하였다. 이들 가운데 100%에 가까운 방제가를 보인 농약은 pyriproxyfen+spinetoram, spinosad, chlorpyrifos,

acetamiprid, abamectin, chlofenapyr, dinotefuran, emamectin benzoate를 포함하여 총 8종류였다(Fig. 1A). 약효가 높은 이들 약제를 대상으로 양독반응을 분석하였다(Fig. 1B). 이 가운데

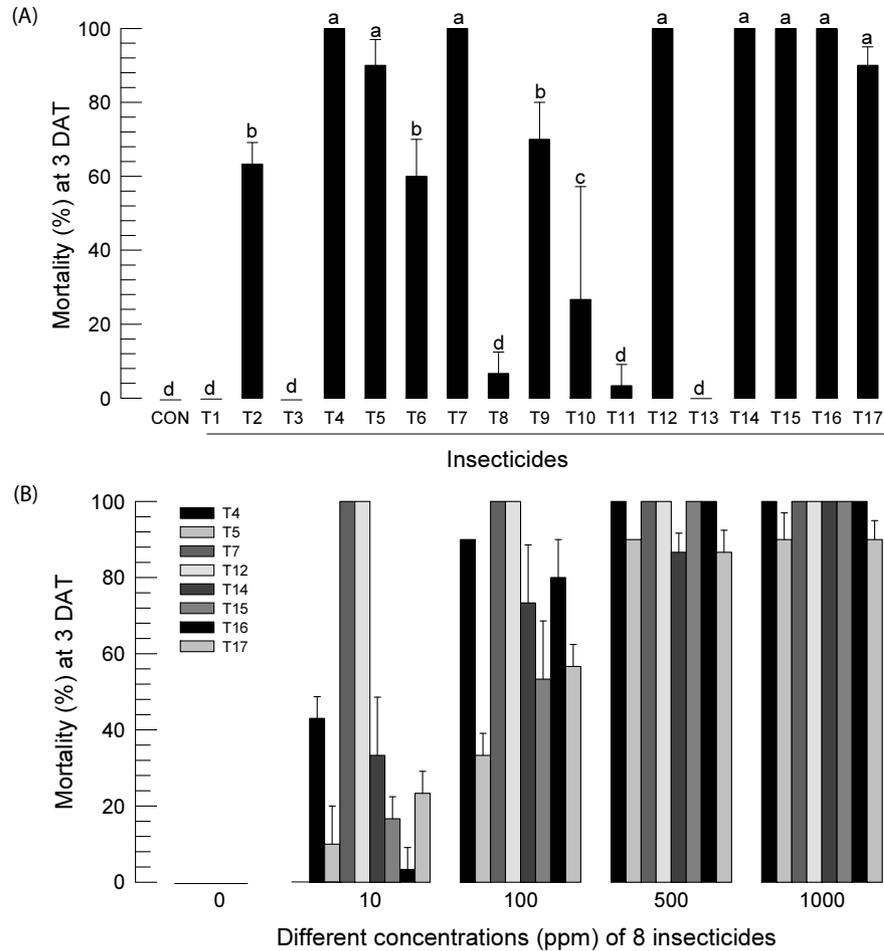


Fig. 1. Screening 17 registered insecticides ('T1-T18', see Table S1) against the western flower thrips, *F. occidentalis*. Test doses used the concentrations recommended by the suppliers. (A) Variation in insecticidal activities at 3 days after treatment (DAT). 'CON' represents a control spray with water. Different letters above standard deviation bars represent significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). (B) Insecticidal activities of different treatment doses of 8 selected insecticides against the adults. Each treatment were replicated three times. Each replication used 10 individuals.

Table 1. Median lethal doses (LC₅₀) of 8 selected insecticides. Results are shown in Fig. 1B

Insecticides	LC ₅₀ (95% CI), ppm	Slope ± SE	R ²	X ²	df
Pyriproxyfen+ Spinetoram (T7)	2.39 (1.19~4.08)	1.64 ± 0.15	0.95	0.05	2
Spinosad (T12)	5.00 (2.47~10.11)	1.58 ± 0.15	0.92	0.05	2
Chlorpyrifos (T4)	8.45 (4.12~17.33)	1.27 ± 0.15	0.85	0.11	2
Acetamiprid (T14)	22.09 (8.06~60.56)	1.14 ± 0.22	0.99	0.89	1
Abamectin (T16)	48.46 (25.55~91.92)	2.67 ± 0.14	0.98	0.98	2
Chlorfenapyr (T17)	54.47 (20.16~147.17)	1.04 ± 0.22	0.97	0.99	2
Dinotefuran (T5)	77.26 (40.71~146.61)	2.26 ± 0.14	0.98	0.95	2
Emamectin benzoate (T15)	83.25 (31.67~218.82)	1.05 ± 0.21	1.00	0.9	2

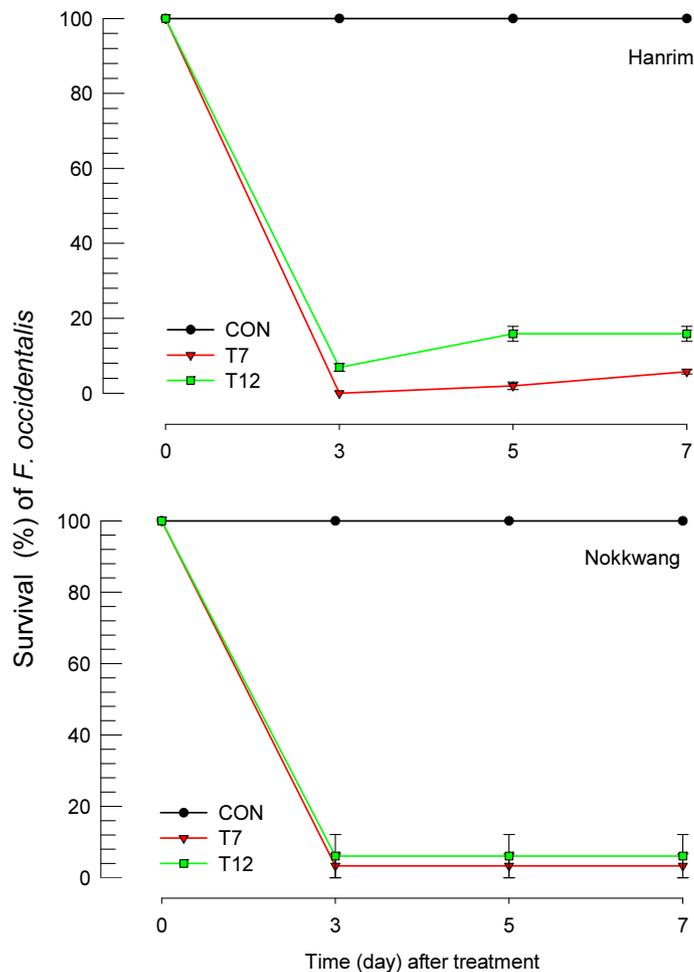


Fig. 2. Field assay of two selected insecticides against *F. occidentalis* infesting hot pepper cultivated in a greenhouse: T7 (pyriproxyfen+spinetoram) and T12 (spinosad). 'CON' represents a control spray with water. The assays were separately performed to the thrips infesting two hot pepper varieties (Hanrim and Nokkwang). Two commercial insecticides were prepared in 500 ppm and treated by a foliar spray. An experimental unit was 15 hot pepper plants and was replicated three times with a randomized block design. Total thrips including larvae and adults were counted. Relative survival rates were estimated at different days after the spray.

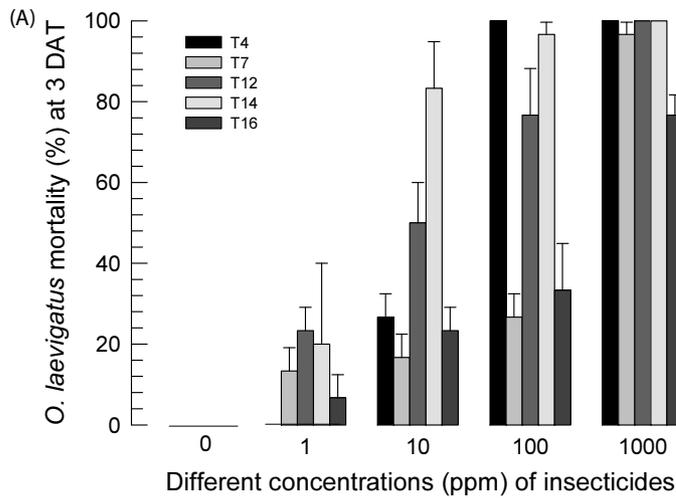
반수치사약량을 기반으로 가장 독성이 높은 제품은 pyriproxyfen+spinetoram 합제와 spinosad였다(Table 1). 이 두 약제의 야외 실증 시험이 진행되었다. 시설재배지에서 고추를 가해하는 꽃노랑총채벌레를 대상으로 권장농도로 살포한 결과, 두 가지 약제 모두 90% 이상의 방제가를 보였다(Fig. 2).

미끌애꽃노린재에 대한 독성평가

꽃노랑총채벌레에 대해서 높은 살충력을 보인 5가지 약제로 미끌애꽃노린재에 대한 독성을 평가하였다(Fig. 3). 세 가지 약제인 acetamiprid, spinosad 그리고 chlorpyrifos는 천적에 높은 살충력을 보인 반면, pyriproxyfen+spinetoram과 abamectin은 비교적 낮은 독성을 나타냈다.

농약 살포에 대한 잔류량 분석과 미끌애꽃노린재에 대한 독성 평가

다시 꽃노랑총채벌레에 대해서 높은 살충력을 보인 5가지 약제를 시설재배지 고추에 각각 살포한 후 처리 경과 후 서로 다른 시기에 잎을 수거하여 독성평가를 하였다(Fig. 4). 처리 후 1일 경과 후에 미끌애꽃노린재를 노출시킨 결과 모든 약제는 높은 독성을 보였다. 특히 acetamiprid와 chlorpyrifos는 가장 높은 살충효과를 보였다. 처리 후 2일 경과하면 acetamiprid와 chlorpyrifos 제외된 모든 약제의 살충효과는 20% 이하로 감소하였다. 반면 acetamiprid와 chlorpyrifos는 처리 후 3일 경과할 때까지 높은 살충효과를 유지하였다. 반면 꽃노랑총채벌레에 높은 살충효과를 보이는 pyriproxyfen+spinetoram과 abamectin



(b) Insecticides	LC ₅₀ (95% CI), ppm	Slope ± SE	R ²	X ²	df
Acetamiprid (T14)	3.76 (0.92 ~ 15.19)	0.77 ± 0.30	0.67	0.25	1
Spinosad (T12)	10.00 (2.47 ~ 40.46)	0.72 ± 0.31	1	0.91	1
Chlorpyrifos (T4)	17.92 (9.10 ~ 35.30)	2.45 ± 0.15	1	0.05	1
Pyriproxyfen+ Spinetoram (T7)	58.75 (18.35 ~ 188.14)	0.19 ± 0.25	0.73	0.05	2
Abamectin (T16)	155.2 (35.94 ~ 670.35)	0.69 ± 0.32	0.95	0.73	2

Fig. 3. Toxicities of five selected insecticides against a predator, *O. laevigatus* in different treatment doses (A). The test insecticides exhibited relatively high insecticidal activities against *F. occidentalis* (see Fig. 1). Each treatment are replicated three times. Each replication used 10 individuals. The toxic effects were assessed by counting dead adults at 3 days after treatment (DAT). The dose-mortality data were analyzed to get median lethal concentrations and 95% confidence intervals (CIs) (B).

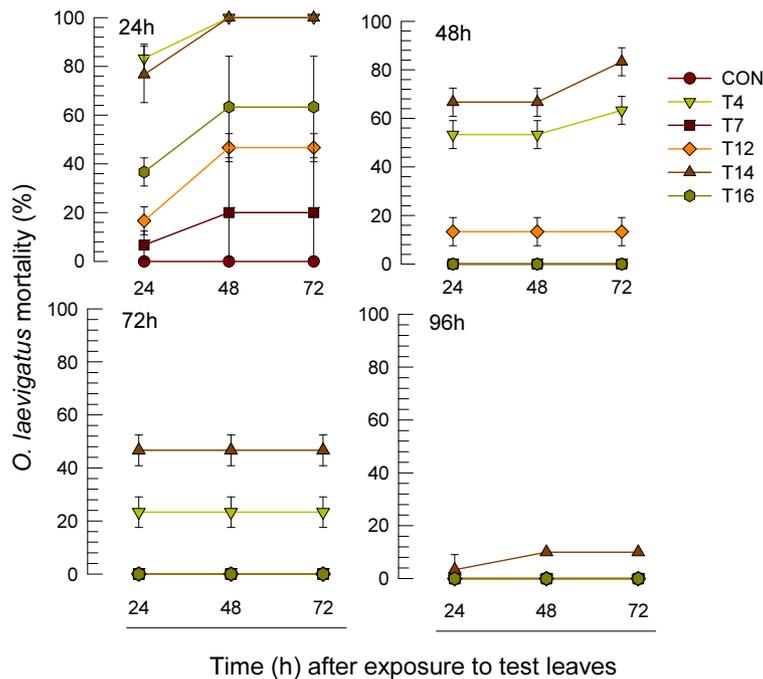


Fig. 4. Residual toxicity of five selected insecticides against a predator, *O. laevigatus*. Five insecticides were sprayed on hot pepper plants in their recommended doses (see Table S1). The leaves were collected at four different elapsed time points (24, 48, 72, and 96 h) after the insecticide spray. The leaves were placed on a round dish (2.5 cm radius and 7 cm height). Ten adults of *O. laevigatus* were released to each dish along with thrips for diet. Mortality was measured at 24, 48, and 72 h after the adult release.

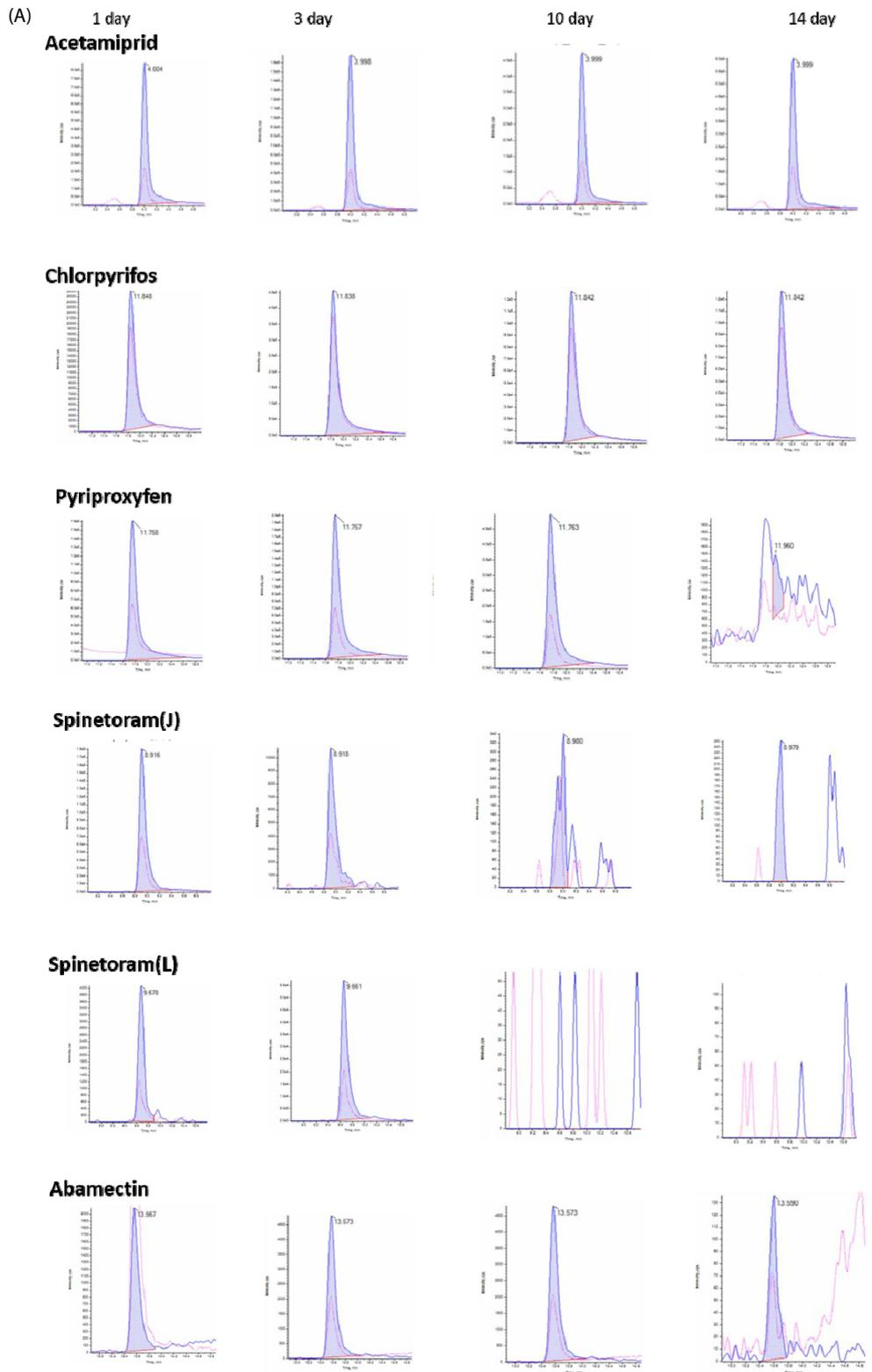


Fig. 5. Chemical analysis of insecticide residues using LC-MS/MS. Four different insecticides were sprayed on hot pepper plants in their recommended doses (see Table S1): T4 for chlorpyrifos, T7 for pyriproxyfen+spinetoram, T14 for acetamiprid, and T16 for abamectin. The leaves were collected at four different elapsed time points (1, 3, 10, and 14 days) after the insecticide spray. (A) Representing chromatograms of six active components of the test insecticides at different collection time points. (B) Time course of the insecticide residue amounts after the spray.

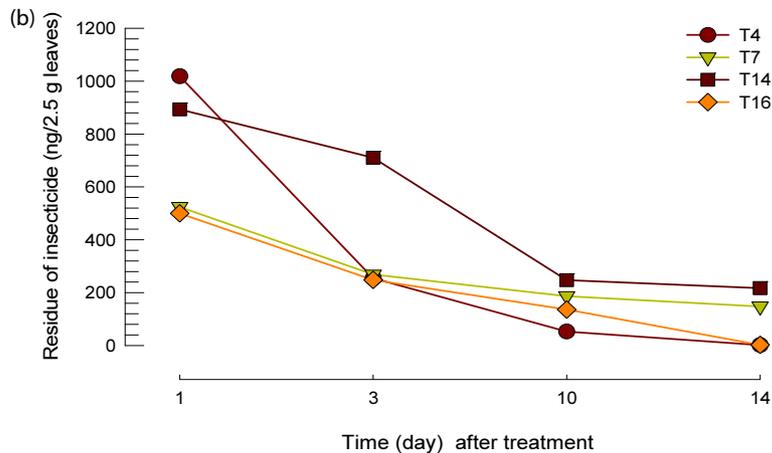


Fig. 5. Continued.

은 미끌애꽃노린재에 대한 독성은 상대적으로 낮았다.

상기 독성 분석에 이용된 고추잎을 대상으로 잔류하는 살충제 농도를 처리 경과 후 시간별(1, 3, 10 및 14일)로 분석하였다 (Fig. 5). Spinosad의 경우 표준물질이 없어 분석에서 제외되었다. Acetamiprid (‘T14’)는 처리 후 3일 경과까지 높은 잔류량 (약 300 ppb = 750 ng/2.5 g hot pepper)을 유지하였고, 이후 14일 경과까지 약 120 ppb의 잔류량을 유지하였다. Chlorpyrifos (‘T4’)는 초기(1일 경과) 높은 잔류량을 보인 후 빠르게 분해되었으나 일정량(약 100 ppb)이 14일까지 유지되었다. 반면 아바멕틴(‘T16’)과 스피네토람 합제(‘T7’)는 비록 초기에 약 200 ppb의 잔류량을 보였지만 3일 경과 이후에는 빠르게 감소하여 10일 이후에는 거의 검출되지 않았다(Fig. 5B).

고찰

최근 진딧물, 가루이 및 총채벌레를 포함하는 여러 미소곤충류가 시설재배지를 중심으로 크게 문제가 되고 있다. 이들의 공통점은 소형이지만, 짧은 생활사를 기반으로 특정 지역의 빠른 밀도 증가가 특징적이다(Lahiri et al., 2022). 이에 대비하여 해충의 초기 밀도 증가를 억제하기 위해 작물 정식과 동시에 천적을 투입하는 Natural Enemy First (NEF) 기술이 개발되어 응애류에 대한 뚜렷한 방제효과 사례도 보고되었다(Ham et al., 2019). 그러나 NEF 기술이 농가 현장에서 다양한 작물에서 적용되지 않은 현실을 고려하면 증가하는 해충의 밀도를 속효성 화학 약제의 처리로 일단 밀도를 낮춘 후 천적 투입을 고려하게 된다. 따라서 천적을 이용한 생물 방제에서 화학 약제의 투입은 불가피한 것으로 보인다. 본 연구는 이러한 현실을 고려하여 약제 처리 이후에 어느 시기에 천적을 투입하여야 안정적으로 천적

개체군을 관리하는지에 연구분석의 초점을 맞추었다.

총채벌레 방제를 위한 17종의 다양한 상용 살충제가 처리되었고, 이 가운데 8종이 추천 살포농도에서 100%에 가까운 실내 방제효과를 주었다. 이들은 유기인계 1종류(chlorpyrifos), 네오니코티노이드 2종류(acetamiprid, dinotefuran), 아바멕틴 2종류(abamectin, emamectin), 스피노사드 2종류(pyriproxyfen+spinetoram, spinosad) 그리고 chlorfenapyr가 선발되었다. 이 가운데 가장 살충성이 높은(반수치사약량 기준 - Table 1 참조) 스피노사드 단제와 스피네토람과 피리프로시펜 합제가 시설재배지 노출 실험을 통해 꽃노랑총채벌레에 대한 현장 방제 우수성도 입증되었다. Chlorfenapyr를 제외하고 나머지 7종류의 약제는 모두 중추신경계를 교란하는 작용기작을 가진다. 예를 들어, 스피네토람(Spinetoram)은 스피노사드 유래 두 종류의 스피노신(3'-ethyl-5,6-dihydrospinosyn J + 3'-ethoxy-spinosyn L) 혼합물로 스피노사드와 같이 nAChR에 대한 작용점을 갖는 신경독이다(Sparks and Nauen, 2014). Chlorfenapyr는 흰개미를 대상으로 개발된 살충제이지만 살비효과도 보이는 약제로서 체내에서 산화효소에 의해 N-ethoxymethyl이 제거되면서 활성화되어 미토콘드리아의 산화적 인산화 반응을 교란하는 호흡저해제이다(Pimprale et al., 1997). 포유동물의 독성이 낮아 WHO에서는 저위험군 약제로 분류되고 있다(Tomlin, 2000). 꽃노랑총채벌레에 대해서 보다 폭넓은 범위에서 광범위하게 사용되는 상용 살충제를 대상으로 약제 스크리닝 실험이 이전 연구에서 분석된 바 있다(Cho et al., 2018). 이 연구에서는 단제의 경우 본 연구에서 입증한 spinetoram 및 spinosad 그리고 유기인계 계통의 chlorpyrifos가 우수한 방제효과를 보여 유사한 연구 결과를 나타냈다. 그러나 아바멕틴의 경우는 상이하여 불과 21%의 낮은 방제효과를 이전 연구에서 나타냈다. 이러한 상

이한 방제효과는 이 약제에 대해서 잘 알려진 약제 저항성으로 해석될 수 있다. 아바멕틴에 대한 저항성이 꽃노랑총채벌레 야외 집단에서 보고된 바 있다(Siqueira et al., 2001). 아바멕틴은 척추동물에 존재하지 않는 glutamate-gated chloride channel을 억제하여 살충력을 보이는 선택적 약제로서 잘 알려져 있다. 따라서 국내 집단 사이에 이 작용점의 유전적 차이를 분석할 필요가 있다.

상용살충제에 대한 미끌애꽃노린재의 약제 감수성은 꽃노랑총채벌레와 상이하였다. 꽃노랑총채벌레에 대해서 살충성이 높은 5개의 약제를 미끌애꽃노린재에 처리한 결과 총채벌레에 비교적 독성이 낮았던 acetamiprid가 천적 노린재에 대해서 가장 높은 살충성을 보여 주었다. 반면에 총채벌레에 가장 높은 살충성을 주었던 스피네토람 합제는 미끌애꽃노린재에 대해서는 비교적 낮은 살충성을 나타냈다. 이러한 상이한 약제 반응성은 해충과 천적 사이에 선택적 살충제의 선발이 가능하다는 것을 내포하였다. 유사한 살충제 스크리닝 연구가 Dáder et al. (2020)에 의해 미끌애꽃노린재에 대해서 진행되었고, 다이아마이드 계열의 약제인 chlorantraniliprole이 비교적 이 천적에 낮은 독성을 준다고 보고한 반면 스피네토람과 아바멕틴은 높은 독성을 주어 본 연구와 차이점을 나타냈다. 이러한 상이한 결과는 아마도 두 연구 사이의 생물검정 방법의 차이에서 기인될 수 있다. 본 연구는 실내 노출실험이지만, 이전 연구는 야외 살포 처리 이후 천적의 보존 상태를 구분하는 연구 방법을 이용하였다.

약제 처리 이후 독성 잔류 상태를 생물검정과 화학분석으로 추적한 결과 아바멕틴과 스피네토람 약제들이 빠른 야외 분해와 더불어 낮은 잔류 독성을 미끌애꽃노린재에 주었다. 반면에 유기인계 및 네오니코티노이드 약제는 비교적 긴 잔류성과 더불어 미끌애꽃노린재에 대해서 높은 독성을 비교적 오랫동안 지속하였다. 이상의 결과는 아바멕틴과 스피네토람 약제가 꽃노랑총채벌레에게 높은 방제효과를 주면서 미끌애꽃노린재와 같은 천적에 대해서 비교적 낮은 위해성을 주는 것으로 판명되었다. 따라서 시설 고추재배지에서 꽃노랑총채벌레의 일시적 대발생이 일어나는 경우 방제효과가 높은 아바멕틴 또는 스피네토람 약제를 긴급 방제로 투입하고, 처리 후 3일 경과하면 다시 미끌애꽃노린재를 재투입하여 전체적 꽃노랑총채벌레의 평균밀도를 경제적피해수준 이하로 유지하게 하는 종합방제 기술을 구현할 수 있다고 본 연구는 제시하고 있다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01578901)과 안동대학교 기본연구지원사업에 의해 이루어졌다.

Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>).

저자 직책 & 역할

김철영: 안동대, 대학원생; 생물검정 및 논문작성
이동현: 안동대, 학부생; 총채벌레 내한성 분석
이동희: 안동대, 교수; 농약 잔류 화학분석
함은혜: (주)오상킨섹트, 과장; 천적 생물 검정
김용균: 안동대, 교수; 실험설계 및 논문작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Angeli, G., Baldessari, M., Maines, R., Duso, C., 2005. Side-effects of pesticides on the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae) in the laboratory. *Biocon. Sci. Technol.* 15, 745-754.
- Ballal, C.R., Yamada, K., 2016. Anthocorid predators. in: Omkar, A. (Ed.), *Ecofriendly pest management for food security*. Elsevier, New York, pp. 183-216.
- Bielza, P., Quinto, V., Contreras, J., Torné, M., Martín, A., Espinosa, P.J., 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.* 63, 682-687.
- Cho, S.W., Kyung, Y., Cho, S.R., Shin, S., Jeong, D.H., Kim, S.I., Park, G.H., Lee, S.J., Lee, Y.S., Kim, M.K., Jo, I.J., Koo, H.N., Kim, H.K., Kim, G.H., 2018. Evaluation of susceptibility of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) and garden thrips (*F. intonsa*) to 51 insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 57, 221-231.
- Colomer, I., Aguado, P., Medina, P., Heredia, R.M., Ferreres, A., Belda, J.E., Viñuela, E., 2011. Field trial measuring the compatibility of methoxyfenozide and flonicamid with *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) in a commercial pepper greenhouse. *Pest Manag. Sci.* 67, 1237-1244.
- Dáder, B., Colomer, I., Adán, Á., Medina, P., Viñuela, E., 2020. Compatibility of early natural enemy introductions in commercial pepper and tomato greenhouses with repeated pesticide applications. *Insect Sci.* 27, 1111-1124.
- Demirozer, O., Tyler-Julian, K., Funderburk, J., Leppla, N., Reitz, S., 2012. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) integrated pest management programs for fruiting vegetables in Florida. *Pest Manag.*

- Sci. 68, 1537-1545.
- Espinosa, P.J., Contreras, J., Quinto, V., Grávalos, C., Fernández, E., Bielza, P., 2005. Metabolic mechanisms of insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest Manag. Sci.* 61, 1009-1015.
- Ham, E.H., Jun, H.J., Lee, J.S., Lim, U.T., Lee, Y.S., Park, J.K., 2019. Biological control of *Tetranychus urticae* Koch on strawberry using "Natural Enemy in First (NEF)" method. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 319-320.
- Isayama, S., Saito, S., Kuroda, K., Umeda, K., Kasamatsu, K., 2005. Pyridalyl, a novel insecticide: potency and insecticidal selectivity. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 58, 226-233.
- Jung, D.O., Hwang, H.S., Kim, S.Y., Lee, K.Y., 2019. Biological control of thrips using a self-produced predatory mite, *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) in the greenhouse chrysanthemum. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 233-238.
- Kim, C., Choi, D., Lee, D., Khan, F., Kwon, G., Ham, E., Park, J., Kil, E.J., Kim, Y., 2022. Yearly occurrence of thrips infesting hot pepper in greenhouses and differential damages of dominant thrips. *Korean J. Appl. Entomol.* 61, 319-330.
- Kirk, W.D., Terry, L.I., 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agric. For. Entomol.* 5, 301-310.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2021. Area of cultivation of outdoor vegetables. http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=415188&pageNo=1&rowNum=10&amSeq=&sTarget=title&sTxt=NO_WCAST (Accessed at June 24, 2022).
- Lacasa, A., Llorens, J.M., 1996. *Trips y su control biológico (I)*. Ed. Pisa Ediciones. Alicante.
- Lahiri, S., Smith, H.A., Gireesh, M., Kaur, G., Montemayor, J.D., 2022. Arthropod pest management in strawberry. *Insects* 13, 475.
- Pappu, H.R., Jones, R.A.C., Jain, R.K., 2009. Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. *Virus Res.* 141, 219-236.
- Pimprale, S.S., Besco, C.L., Bryson, E.K., Brown, T.M., 1997. Increased susceptibility of pyrethroid-resistant tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorfenapyr. *J. Econ. Entomol.* 90, 49-54.
- Puinean, A.M., Lansdell, S.J., Collins, T., Bielza, P., Millar, N.S., 2013. A nicotinic acetylcholine receptor transmembrane point mutation (G275E) associated with resistance to spinosad in *Frankliniella occidentalis*. *J. Neurochem.* 124, 590-601.
- Reitz, S.R., Gao, Y., Kirk, W.D.J., Hoddle, M.S., Leiss, K.A., Funderburk, J.E., 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 65, 17-37.
- SAS Institute, 1989. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina.
- Siqueira, H.A.A., Guedes, R.N.C., Frago, D.B., Magalhaes, L.C., 2001. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Int. J. Pest Manage.*, 247, 247-251.
- Sparks, T.C., Nauen, R., 2014. IRAC: mode of action classification and insecticide resistance management. *Pestic. Biochem. Physiol.* 121, 122-128.
- Tomlin, C.D.S., 2000. *A World Compendium. The Pesticide Manual*. 12th Ed. British Crop Protection Council, London, UK.
- Webster, C.G., Reitz, S.R., Perry, K.L., Adkins, S.A., 2011. Natural mRANA reassortant arising from two species of plant and insect-infecting bunyaviruses and comparison of its sequence and biological properties to parental species. *Virology* 413, 216-225.
- Zhao, M., Ho, H., Wu, Y., He, Y., Li, M., 2014. Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) transmits Maize chlorotic mottle virus. *J. Phytopathol.* 162, 532-536.
- Zhang, B., Qian, W., Qiao, X., Xi, Y., Wan, F., 2019. Invasion biology, ecology, and management of *Frankliniella occidentalis* in China. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 102, e21613.