

시설 고추재배지에서 꽃노랑총채벌레 집합페로몬과 식물 휘발성 유인제 효능의 한계성

김철영 · 권기면¹ · 김용균*

안동대학교 식물의학과, (주) 생물이용연구소

Limitation in Attraction Efficacy of Aggregation Pheromone or Plant Volatile Lures to Attract the Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* Infesting the Hot Pepper, *Capsicum annuum*, in Greenhouses

Chulyoung Kim, Gimyeon Gwon¹ and Yonggyun Kim*

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

¹Institute of Bio-Utility, Andong 36728, Korea

ABSTRACT: Mass trapping of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, has been considered as an option to control this pest. This study applied the commercial lures to the hot pepper-cultivating greenhouses and assessed the enhancement of the attracting efficiency by adding to sticky traps. There was no color difference in the attracting efficiency between blue and yellow sticky traps. However, the installation position of the traps was crucial in the greenhouses. The more thrips were captured within host cropping area than outside areas of the crop. In vertical trap position, it was the most optimal to install the traps at the crop crown. Using these installation parameters, the yellow sticky traps captured approximately 1% population of the thrips. To enhance the trapping efficiency, the commercial lures containing aggregation pheromone or 4-methoxybenzaldehyde were added to the yellow sticky traps. However, these commercial lures did not significantly enhance the trapping efficiency compared to the yellow sticky trap alone. In contrast, Y-tube olfactometry assays confirmed the high efficiency of the aggregation pheromone or another plant volatile (methyl isonicotinate) to attract the thrips. Interestingly, these lure components had lower attracting efficiencies compared to the hot pepper flowers. The high attractive efficiency of the flowers was supported by the observation that the commercial lure was effective to enhance the trapping efficiency of the yellow sticky trap against *F. occidentalis* in Welsh onion (*Allium fistulosum*) field without any flowers. This study indicates the limitation of the commercial lures in application to hot pepper fields for the mass trapping of *F. occidentalis*. It also suggests active volatile component(s) from hot pepper flowers to attract *F. occidentalis*.

Key words: *Frankliniella occidentalis*, Hot pepper, Aggregation pheromone, Methyl isonicotinate, Trap

초록: 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*) 방제 전략 가운데 하나로 대량유살 기술이 제기되었다. 이를 위해 본 연구는 이 해충에 적용되는 상용유인제의 효능을 시설 고추재배지를 중심으로 분석하였다. 총채벌레 모니터링에 사용되는 점착트랩의 경우 청색과 황색 색상에 따른 유인력 차이는 크지 않았다. 그러나 트랩의 위치는 큰 변수로서 기주에 가까이 위치할수록 포획 밀도가 높았다. 또한 상하 위치도 중요한 변수로서 기주 작물 수관 부위에서 가장 높은 포획 밀도를 보였다. 이를 기준으로 황색 점착 트랩을 설치한 경우 전체 총채벌레 밀도의 약 1%를 유살하였다. 이러한 낮은 유살 능력을 높이기 위해 상용유인제를 황색트랩에 추가하였다. 집합페로몬 또는 식물 휘발성 유인제(4-methoxybenzaldehyde) 성분의 두 가지 상용유인제 추가 처리는 황색트랩 단독 처리에 비해 크게 유인력을 증가시키지 못하였다. 그러나 Y-튜브 실내 행동분석은 집합페로몬과 식물 휘발성 유인제(methyl isonicotinate)들이 각각 꽃노랑총채벌레에 대해서 높은 유인력을 가지고 있는 것을 확인하였다. 반면에 이들 유인물질은 기주 고추꽃보다 꽃노랑총채벌레에 대해서 상대적으로 낮은 유인력을 나타냈다. 이는 꽃이 없는 시설 대파(*Allium fistulosum*) 재배지에서는 상용유인제 추가 처리가 황색트랩 단독 처리보다 꽃노랑총채벌레에 대하여 높은 유인력을 가지는 것을 미뤄 이 곤충의 꽃에 대한 높은 선호성을 뒷받침하였다. 본 연구는 꽃노랑총채벌레에 사용되는 상용유인제들의 한계성을 지적하며 추후 고추꽃을 중심으로 새로운 유인물질의 탐색에 대한 기초자료를 제공한다.

검색어: 꽃노랑총채벌레, 고추, 집합페로몬, 메틸이소니코티네이트, 트랩

*Corresponding author: hosanna@anu.ac.kr

Received September 28 2021; Revised October 21 2021

Accepted October 23 2021

꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)는 전 세계적으로 광범위하게 분포하며 채소, 과일 등 원예 농작물에 심각한 피해를 주는 해충이다(Reitz et al., 2020). 또한 불완전변태류의 일반적 섭식 행동으로 미성숙 및 성숙 발육태 모두가 작물의 피해를 주고 있다(Kirk and Terry, 2003; Demirozer et al., 2012). 특히 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 해충을 방제하기 위해 다양한 화학 살충제가 등록되어 사용되고 있다. 실내 조건에서 직접 또는 먹이를 통한 간접 접촉을 통해 높은 방제 효과를 보이고 있다. 그러나 야외 작물 생육 조건에서 이들 화학 약제의 처리는 기대 이하의 방제 효과를 주게 된다. 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). 교미하는 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 작용점이 상이한 약제 사이에 교차저항성을 나타내 단일산화효소와 같은 해독효소에 기반한 약제 대사를 촉진하는 반응이 관여하는 것으로 보인다(Espinosa et al., 2005).

비화학적 방법으로 꽃노랑총채벌레의 효과적 방제를 위한 일환으로 이들의 화학통신을 이용한 대량유살 기술이 딸기 시설재배지에 응용될 수 있는 것으로 소개되었다(Sampson and Kirk, 2013). 이 기술을 살펴보면 비교적 단파장의 색상에 유인되는 이 총채벌레의 행동을 응용하여 청색점착 트랩이 이 기술에 적용되었다. 여기에 총채벌레에서 알려진 집합페로몬 성분을 이용하여(Hamilton et al., 2005) 수컷 성충이 발산하는 집합페로몬인 neryl-(S)-2-methylbutanoate를 청색트랩에 추가하여 포획 밀도를 증가시켰다. 이 결과 꽃에 서식하는 밀도 감소는 물론이고 총채벌레의 섭식에 따른 딸기의 품질 저하를 현격하게 줄였다. 더욱이 이 대량유살 기술이 꽃노랑총채벌레를 경제적피해수준 이하로 줄여 화학방제에 비해 경제성을 확보하는데 유리하였다. 이 연구를 토대로 꽃노랑총채벌레에 대한 대량유살 방제 전략이 다른 작물에 피해를 주는 꽃노랑총채벌레에도 적용이 가능한지를 알아볼 필요가 있다.

국내 널리 재배되는 고추(*Capsicum annuum*)는 조미채소로 2020년 재배면적은 31,146 ha로 전체 조미채소 재배면적의 35.6%를 차지하고 있으며, 특히 시군별로 보면 안동지역이 가장 넓은 재배면적을 갖고 있다(KOSIS, 2020). 고추를 가해하는 해충은 진딧물, 총채벌레, 가루이, 잎응애 및 담배나방 등을 포함하여 모두 35종이 알려져 있으며(RDA, 2020) 총채벌레에 의

한 직간접 피해가 우려된다(Lee et al., 2004). 특히 TSWV를 전파하는 총채벌레류가 고추 열매에 1차피해를 주어 상품성을 크게 저하시키는 일명 칼라병을 유발하고 있다(Moon et al., 2006; Seo et al., 2018). 특히 칼라병을 포함한 고추 바이러스 발생율이 2000년도 들어와 더욱 증가하는 추세를 보였다(Kim, 2000; Kim et al., 2021a). 안동지역 고추 시설재배지를 중심으로 총채벌레류의 발생을 분석한 결과 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레가 유사한 발생 빈도로 전체 총채벌레의 발생 가운데 95% 이상을 차지하였다(Kim et al., 2021b).

본 연구는 시설재배지 고추를 가해하는 꽃노랑총채벌레를 대상으로 대량유살을 통한 방제기술을 개발하는 데 궁극적 목표를 세웠다. 이를 추진하기 위해 점착트랩의 색상을 결정하기 위해 유인효과가 있는 황색과 청색을 비교 분석하였다. 여기에 포장 조건에서 트랩의 위치에 대한 요인을 분석하였다. 또한 상용 유인제를 첨가하여 포획 밀도의 증가 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

꽃노랑총채벌레 실내사육

꽃노랑총채벌레는 국립농업과학원(전주) 작물보호부에서 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, 발아 후 5일 이상이 지난 강낭콩(*Phaseolus coccineus*)을 유충과 성충의 먹이로 제공하였다.

점착트랩 색상에 따른 꽃노랑총채벌레 포획 효율 검증

2021년 3월 3일부터 3주간 경북 안동시 풍산읍 수동리(‘AD1’), 풍산읍 매곡리(‘AD2’), 풍천면 하회리(‘AD3’)에 소재한 시설 고추재배지에서 황색과 청색 점착트랩(10 × 15 cm, 그린아그로텍, 경산)을 각 비닐하우스(약 300평 규모)당 세 지점에 설치하고, 매주 수거하고 교체하여 주었다. 총채벌레류의 밀도 조사를 위하여 수거한 트랩을 실험실로 가져와 해부현미경(M165FC, Leica, Wetzlar, Germany) 하에서 꽃노랑총채벌레를 동정하고 계수하였다. 꽃노랑총채벌레는 머리 부위 자모 배열로 구분하였다.

꽃노랑총채벌레 비행 행동분석

안동대학교 유리온실 포장(100 m², 높이 3 m)에 지상(15 cm)으로부터 최대 높이까지 세로 방향(15 cm 길이)의 황색

점착트랩을 위아래로 길게 연결시켜 설치한 후 3주간 각각의 점착트랩에 포획된 총채벌레 수를 계수하여 수직 비행행동을 분석하였다. 고추 경작지를 가장자리에서 2 m 간격으로 멀리 떨어뜨리면서 트랩을 설치하여 수평 비행행동을 분석하였다. 또 재배지 중앙과 가장자리, 고추가 없는 먼 거리에 트랩을 배치하여 포획 효과를 조사하였다. 각각은 3 반복으로 실시되었다.

황색 점착트랩을 이용한 꽃노랑총채벌레 대량포획 효율

상기의 유리온실에 50주의 고추가 재배되었고, 꽃노랑총채벌레만 발생하였다. 여기에 작물 상단에 황색 트랩을 임의로 3 지점에 설치하고 2주간 포획된 각 트랩의 총채벌레 총수(C)를 계수하였다. 비교하여 각 조사시기에 포장 내에 존재하는 총채벌레수(T)를 결정하기 위해 임의로 10주를 선발하여 발생한 각 고추의 총채벌레 수(n_1-n_{10})를 각각 계수하여 T를 추정하였다. 포획효율은 C/T의 백분율로 표기하였다.

상업용 유인제 유인 상승 효과 분석

상기의 야외 시설 고추재배지에 추가하여 애호박 재배지(풍산읍, 안동)에 황색점착트랩에 상업적으로 이용되는 식물 휘발성 유인제('PV', 4-methoxybenzaldehyde, Alpha Scents, Canby, OR, USA)와 집합페로몬('AP', IT860, undescribed composition, ISCA lure, Riverside, CA, USA)을 트랩에 부착하여 5 m 간격으로 시설 재배지에서 3 반복으로 조사하였다. 야외 분석은 2021년 6월 15일에서 7월 6일까지 3주간 진행되었다. 대조구는 유인물이 없는 황색점착트랩만 설치하였다.

유인제 제작

총채벌레류의 집합물질로 알려진 neryl-(S)-2-methyl butanoate ('NMB') (Hamilton et al., 2005)와 (R)-lavandulyl 3-methylbutanoate ('LMB') (Niassy et al., 2019) 그리고 일반 유인제로 알려진(Teulon et al., 2017) methyl isonicotinate ('MIN', 98% purity, Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea)를 헥산에 용해시킨 후 고무격막(Chemglass, Vineland, DE, USA)에 200 μ L씩 분주 후 10분 동안 용매를 휘발시켰다. 처리된 고무격막은 황색 트랩 상단 구멍에 끼워 처리하였다. NMB와 LMB는 (주) AD (송천동, 안동)에서 합성하여 구매하였다. 두 물질은 모두 이성체가 분리되지 않은 racemic 혼합체였다.

Y-튜브 선택실험

Y-튜브를 이용한 선택실험은 Takabayashi and Dicke (1992) 방법으로 진행하였다. Y-튜브는 유리 재질로 길이는 10 cm, 양팔의 각도는 45°로 벌어지며 길이는 8 cm, 지름은 2 cm 였다. 처리물질은 헥산에 농도별로 녹여 원관(1 cm 직경) 여과지에 10 μ L씩 처리하였다. 대조구는 헥산을 이용하였다. 각 행동분석은 20 마리의 꽃노랑총채벌레 성충(우화 후 3 일 이내)을 Y-튜브 중앙관 입구에 투입 후 활성탄 필터가 장착된 공기주입기(Daekwang, Korea)를 통해서 신선한 공기를 Y-자 양쪽 연결관에 공급해주었다. 성충 투입 후 10분 동안 갈림길에서 각각의 처리 또는 대조구로 이동한 개체를 계수하였다. 갈림길까지 이동하지 않은 개체들은 무반응으로 표기하였다. 발육 시기에 따른 반응 실험에서는 꽃노랑총채벌레 암컷과 수컷, 초기 2령충을 사용하였다. 모든 처리는 3반복으로 실시하였다.

기주 고추 선호도 생물검정

원형용기(10 × 4 cm) 내부 양쪽 끝에 처리 품종의 고추 부위(꽃 또는 잎)을 넣은 후 20 마리의 꽃노랑총채벌레 성충을 투입하였다. 이후 10 분 후 처리구와 대조구로 이동한 개체수를 계수하였다. 고추의 품종별 유인력 조사에서 세 가지 품종인 녹팡(*Capsicum annuum* cv. Noggwang), 칼라스피드(*C. annuum* cv. Color Speed) 및 한림파리고추(*C. annuum* cv. Hanrim-gwariput)가 분석되었다. 모든 분석은 3반복으로 실시되었다.

대파재배지에서 상용 유인제의 유인효과

대파 재배지(약 1,000 m², 안동시 송천동)에 황색점착트랩에 상기에 기술한 상업용 유인물질을 부착하여 5 m 간격으로 3 반복으로 설치하였다. 대조구로 황색트랩 만을 설치하였다. 총채벌레의 분류는 머리 자모 배열과 촉각 구조로 분류하였고, 3주간(2021년 6월 2일 ~ 6월 23일) 연속 조사한 것을 트랩별로 평균 밀도를 산출하여 비교하였다.

통계분석

처리 효과는 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 1989)을 이용하여 one-way ANOVA 분석을 하였다. 처리 평균간 비교는 LSD 방법을 이용하여 제I형 오류 확률 0.05를 기준으로 판별하였다.

결과

트랩 설치 높이와 위치에 따른 꽃노랑총채벌레 포획 효율

꽃노랑총채벌레 모니터링에 효율적인 트랩 색상을 결정하기 위해 세 지역(AD1, AD2, AD3)에서 트랩 색상에 따른 포획 밀도 차이를 비교하였다(Fig. 1A). 세 지역 고추재배지에서 꽃노랑총채벌레의 발생 밀도는 달랐지만, 청색과 황색트랩 사이에 차이는 나타나지 않았다. 트랩 설치 상하 위치에 따라 포획 밀도 차이를 비교한 결과 재배하고 있는 기주 고추의 높이인 60~90 cm에서 가장 높은 수치를 보였다(Fig. 1B). 흥미로운 사실은 2 m 이상의 고도에서도 꽃노랑총채벌레 성충이 포획되었다. 한편 기주로부터 설치 트랩의 수평적 거리에 따른 포획 밀도를 분석한 결과 재배지 가장자리에서 2 m 떨어진 트랩까지는 포

획 밀도가 유의한 차이가 없었으나, 그 이상 멀어지는 경우 포획 밀도가 유의하게 감소하였다(Fig. 1C). 또한, 재배지 내에서도 가장자리보다는 재배지 중앙에 설치된 트랩에서의 포획 밀도가 높았다(Fig. 1D).

상용유인제를 이용한 꽃노랑총채벌레 모니터링 효과

최적의 트랩 설치 조건에서(재배지 중심부, 황색, 기주 높이) 트랩에 유인되어 포획된 밀도를 산출하고, 실제로 고추 기주에서 관찰된 꽃노랑총채벌레의 개체 밀도와 비교하였다(Table 1). 전체 기주 고추에 서식한 개체 수에 대비하여 설치된 3 개 트랩에 포획된 밀도를 비교한 결과 각 트랩은 전체 총채벌레 가운데 불과 0.81~2.05%를 포획한 것으로 나타났다. 즉, 전체 꽃노랑총채벌레 집단 가운데 약 1% 밀도가 기주 고추에서 트랩으로

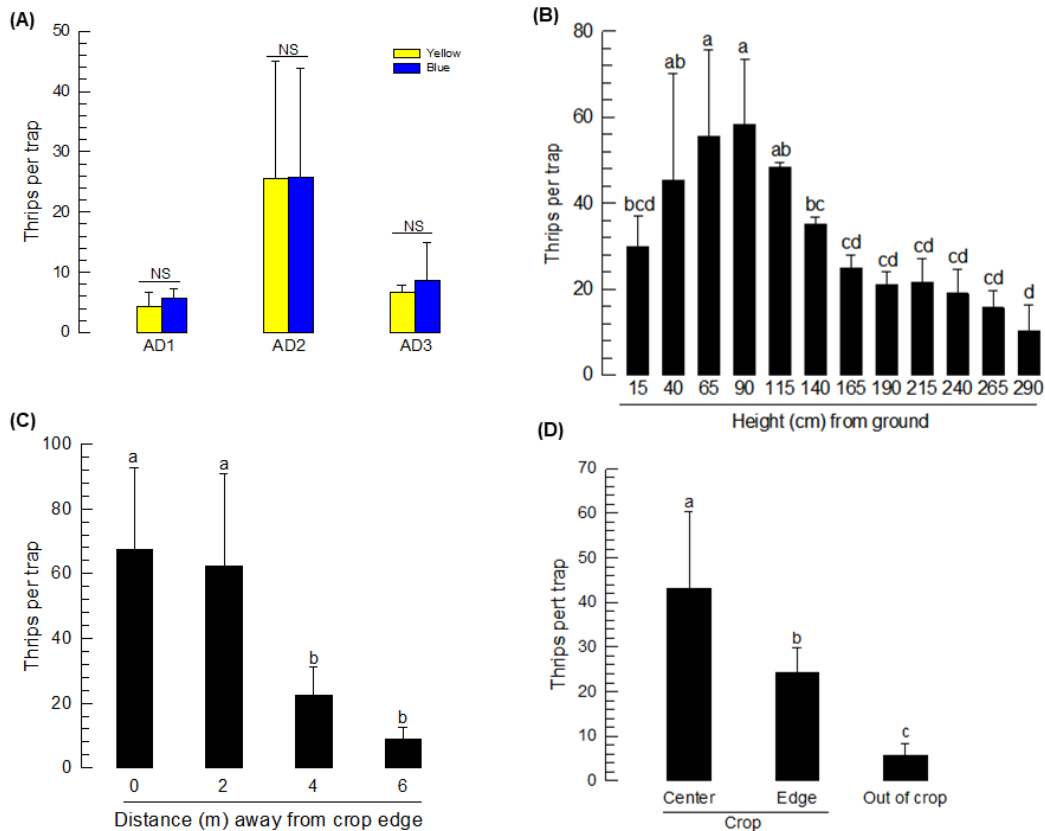


Fig. 1. Optimal conditions of sticky trap to monitor *F. occidentalis* infesting hot pepper cultivated in greenhouses. (A) Comparison of blue and yellow trap colors. Three traps per greenhouse (1,000 m²) were weekly monitored for three consecutive weeks. (B) Vertical position of yellow trap installation. A long (3 m) strip of the sticky traps were hung from the roof to the ground. Three strips were installed in a greenhouse (100 m²) and weekly monitored for three consecutive weeks. (C) Trap (yellow) distance from cropping area in a greenhouse (100 m²). Traps were installed in difference distances from the edge of the cropping area. Each trap was weekly monitored for four consecutive weeks. (D) Effect of trap (yellow) location within a cropping area in a greenhouse (1,000 m²) compared to traps installed out of cropping area. Three traps in each location were weekly monitored for three consecutive weeks. Different letters above standard deviation bars represent significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

유인되었다.

낮은 유인 효과를 높이기 위해서 상용유인제인 집합페로몬 (AP)과 식물체 유래 유인제(PV)을 추가하였다(Fig. 2). 애호박 을 재배하는 시설재배지에서는 설치 초기에 대조구에 대비하 여 집합페로몬에서 높은 유인 상승효과를 보였지만 시간 경과 에 따라 이러한 유인력 상승효과를 보이지 않았다. 식물체 유래 유인제의 경우는 유인 상승효과를 전체 조사 기간 보이지 않았 다. 반면에 고추 포장에서는 두 상용 유인물질 모두 전체 조사 기간 뚜렷한 유인 상승효과를 보여주지 못했다.

유인물질의 최적화 및 야외 실증시험

또 다른 식물체 유래 유인제(MIN)의 상이한 농도에 따라 꽃 노랑충채벌레에 대한 유인 효과를 Y-튜브 행동분석 기법을 이 용하여 분석하였다(Fig. 3A). 처리농도가 10 µg 이상에서 유인 효과가 농도-반응 효과를 주었다. 그러나 20 µg 이상의 처리에

Table 1. Estimation of trapping efficiency using yellow sticky trap against *F. occidentalis* in a greenhouse (100 m²) culturing 50 hot pepper plant

Test date	Total adults ¹	Total capture ²	Trapping efficiency (%)
Apr 16	205.6 ± 21.4	1.67 ± 1.15	0.81 ± 0.56
Apr 23	194.5 ± 14.5	4.33 ± 2.08	2.05 ± 0.88

¹Calculated from average adult number from randomly chosen 10 plants

²Average number from three traps

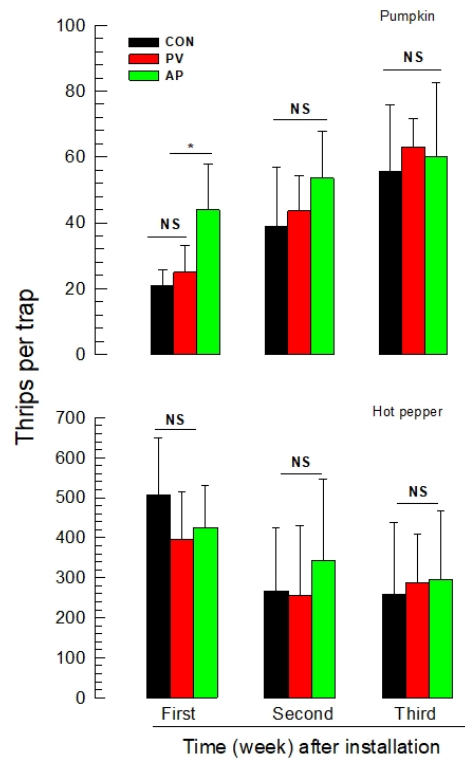


Fig. 2. Efficiencies of two commercial lures to enhance yellow sticky trap to attract *F. occidentalis* in two greenhouses cultivating pumpkin (*Cucurbita moschata*) and hot pepper (*Capsicum annuum*). Traps were installed within cropping area. Three traps were weekly monitored for three consecutive weeks. 'CON' represents control yellow sticky trap without lures. 'AP' represents a commercial aggregation pheromone added to the sticky trap. 'PV' represents a commercial lure containing 4-methoxybenzaldehyde added to the sticky trap. Asterisk above standard deviation bar represents significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

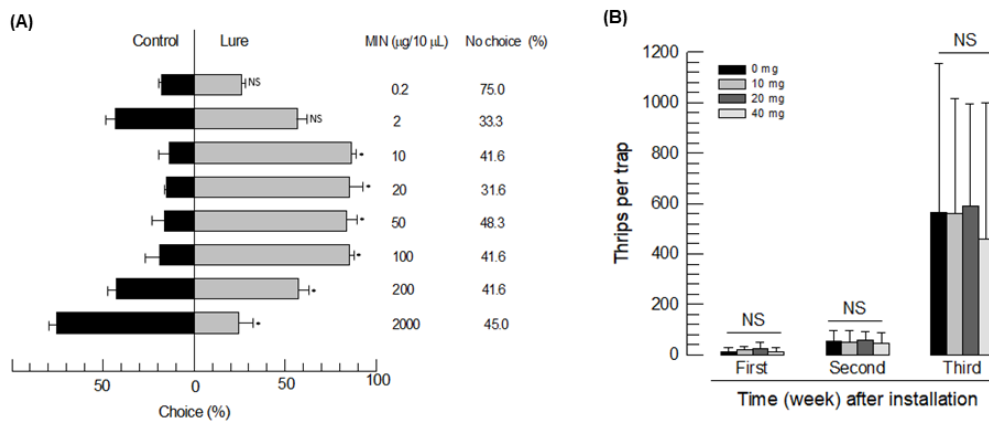


Fig. 3. Optimal concentration of methyl isonicotinate (MIN) to attract *F. occidentalis* and its application to field conditions. (A) Y-tube choice test to determine optimal concentration of MIN. Test solution was applied in a volume of 10 µL. (B) Influence of the addition of the optimal lure to yellow sticky trap to attract the thrips in a greenhouse cultivating hot pepper. Three traps per greenhouse (1,000 m²) were weekly monitored for three consecutive weeks. Asterisk above standard deviation bar represents significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

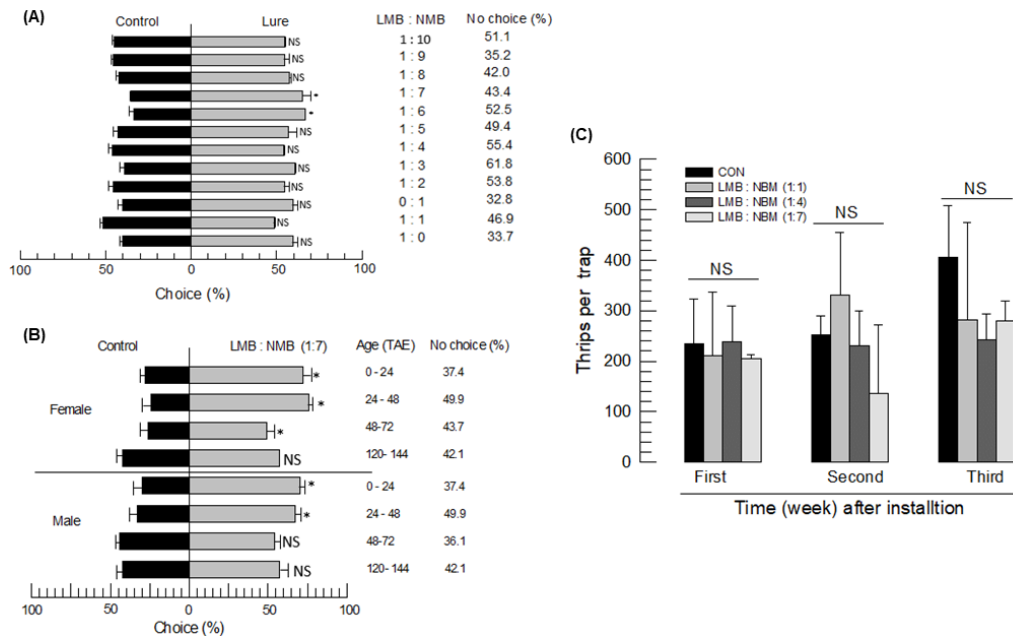


Fig. 4. Optimal mixture ratio of two aggregation pheromone components (LMB and NMB) to attract *F. occidentalis* and its application to field conditions. Y-tube olfactometry was used to assess the attractiveness with 20 adults per replication. (A) Effect of different mixture ratios on attracting young (< 2 days old after adult emergence) adults. (B) Effect of adult ages in each sex on olfactory behavior in Y-tube. 'TAE' represents time (h) after emergence. 'No choice' indicates the adults which did not reach to lure. (C) Influence of the addition of three different aggregation pheromone components to yellow sticky trap on enhancing the trap efficiency of the yellow sticky trap in a greenhouse cultivating hot pepper. Three traps per greenhouse (1,000 m²) were weekly monitored for three consecutive weeks. Asterisk beside standard deviation bar represents significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

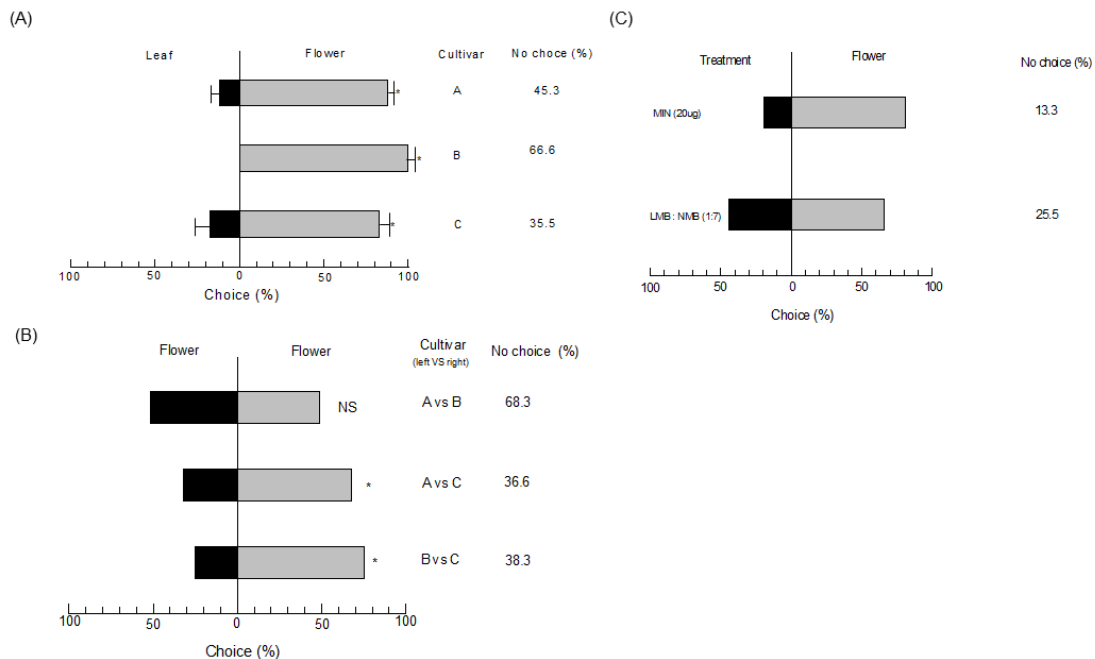


Fig. 5. Preference of *F. occidentalis* for hot pepper flowers using olfactometry analysis. (A) Preference of flowers to leaves of hot peppers. Three cultivars of hot peppers are 'A' for Noggwang, 'B' for Color Speed, and 'C' for Hanrimggwariput. (B) Preference test of the thrips among three cultivar flowers. Bioassay used a round arena (10 × 4 cm). Each test used 20 adults and was replicated three times. (C) Comparison of flower (C cultivar) with two lures optical to attract *F. occidentalis* adults using Y-tube test. 'MIN' and 'LMB:NMB' represent methyl isonicotinate and aggregation pheromone, respectively. Asterisk beside standard deviation bar represents significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

서는 유인 효과가 낮아지거나 오히려 기피효과를 유발하였다. 유효 농도를 주었던 유인제를 고추 시설재배지에 처리한 결과 실내 행동처리에서 보았던 유인효과를 보지 못했다(Fig. 3B).

집합페로몬의 두 성분을 비율별로 조합하여 Y-튜브 행동반응을 분석하였다(Fig. 4A). LMB에 대한 NMB의 비율을 조절하였을 때 1:7의 조건에서 최적의 유인 효과를 나타냈다. 이 농도비율에서 암수 모두 성충 나이가 적을수록 높은 유인 효과를 보였다(Fig. 4B). 그러나 이 농도비의 집합페로몬을 시설 고추 재배지에 처리한 결과 유의성 있는 유인 상승효과를 얻지 못했다(Fig. 4C).

기주 꽃에 대한 꽃노랑총채벌레의 높은 선호성

실내에서 최적화된 유인제 조건에서도 꽃노랑총채벌레가 야외 고추재배지에서 유인 상승효과가 나타나지 않은 것이 기주의 꽃에 대한 높은 선호성에 기인하였는지를 실내 행동 연구로 비교 분석하였다(Fig. 5A). 우선 꽃에 대한 선호성은 고추품종에 따라 차등성을 나타냈다(Fig. 5B). 두 유인제를 꽃과 비교하였을 때 모두 꽃에 대한 높은 선호성을 보였다(Fig. 5C). 꽃노랑총채벌레의 꽃에 대한 높은 선호성을 증명하기 위해 꽃이 없는 대파 재배지에서 상용유인제의 유인력을 분석하였다(Fig. 6). 이 재배지에서 꽃노랑총채벌레는 물론이고 파총채벌레와 대만총채벌레가 포획되었다. 대만총채벌레에서는 이들 유인

제에 대한 뚜렷한 유인 효과를 보이지 않았지만, 꽃노랑총채벌레와 파총채벌레에서는 집합페로몬에 대한 높은 선호성을 나타냈다.

고찰

본 연구는 꽃노랑총채벌레의 대량유살 기술을 개발하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 유색점착트랩을 이용하여 트랩설치 지점 및 상용유인제에 의한 유인력 상승효과를 기대하였다. 연구의 진행은 야외 조건에서 최적화 트랩 조건을 결정하고, 이를 기준으로 유인제의 포획 상승효과를 분석하는 단계로 진행하였다. 여기에 야외 조건에서 문제점을 실내 조건에서 변수보정을 하고 다시 이를 기반으로 야외 조건에서 실증효과를 검증하는 연구 접근법을 시도하였다.

꽃노랑총채벌레 유인을 최적화하기 위한 트랩 조건을 트랩 색상 및 설치 위치를 분석하였다. 총채벌레 모니터링에 가장 많이 사용되는 청색과 황색 트랩을 비교한 결과 세 지역 모두의 시설 고추재배지에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 꽃노랑총채벌레는 청색, 황색 및 흰색에 대해서 선호성을 갖으나 포장 조건과 계절에 따라 상이한 것으로 알려졌다(Johansen et al., 2018). Röth et al. (2016)은 겨울 동안에는 황색에 유인이 잘되지만, 봄철에는 청색에 더 잘 유인된다고 이들의 계절적 유인력 변동성을 지적하였다. 한편 트랩의 설치 각도에 따라서도 차이점이 있어 수직 설치보다는 45도로 기울여 설치하는 것이 꽃노랑총채벌레에 대한 높은 포획 효율을 보여주었다(Kim et al., 2019). 본 연구에서 황색과 청색 사이에 큰 차이가 없는 유인 효과는 상대적으로 총채벌레의 포획 유무를 확인하기 편한 황색 트랩으로 색상을 결정하고 추후 연구에 적용하였다. 황색 트랩을 기준으로 고추 포장의 중심부에 고추 키 높이로 설치하는 것이 가장 높은 유인 효과를 주었다. 높이에 따라 포획된 꽃노랑총채벌레의 밀도를 바탕으로 이 해충의 이동 행동을 이해하게 한다. 즉, 곤충의 이동은 특별한 방향성이 없이 주변 지역으로 단거리 이동하는 분산과 방향성을 갖고 비교적 장거리 이동하는 이주로 구분된다(Dingle and Drake, 2007). 이를 총채벌레와 같은 미소 곤충에 적용하는 경우 이동 고도로 판정하는 데, 작물 높이와 비교하여 약 2.5배 고도지역까지를 분산 한계로 간주하고 이 이상의 높이에서는 바람의 흐름에 따라 비교적 장거리 이주하는 영역이다(Oke, 1987; Isard and Gage, 2001). 이를 기준으로 고추(90 cm)에 적용하면 약 2.25 m의 높이까지가 분산 영역으로 간주하고, 이 이상의 높이에서는 장거리 이주로 간주할 수 있다(Smith et al., 2015). 본 연구에서는 이 이상의 높이에서도 포획되는 것을 미뤄 꽃노랑총채벌레는 비교적 장거리

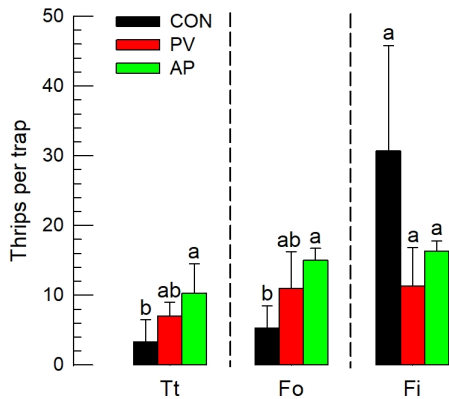


Fig. 6. Efficiencies of two commercial lures to enhance yellow sticky trap to attract *Thrips tabaci* ('Tt'), *F. occidentalis* ('Fo'), and *F. intonsa* ('Fi') in a greenhouse cultivating Welsh onion (*Allium fastuosum*). Traps were installed within cropping area. Three traps were weekly monitored for three consecutive weeks. 'CON' represents control yellow sticky trap without lures. 'AP' represents a commercial aggregation pheromone added to the sticky trap. 'PV' represents a commercial lure containing 4-methoxybenzaldehyde added to the sticky trap. Asterisk above standard deviation bar represents significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

이주가 가능한 곤충으로 간주될 수 있다. 꽃노랑총채벌레는 기주 재배지내에서도 국부 기상 조건에 따라 선호하는 환경조건이 유충(22°C 온도, 86% 상대습도)과 성충(27°C 온도, 63% 상대습도)이 달리 집중 분포하는 것으로 알려졌다(Fatnassi et al., 2015). 따라서 본 연구 결과는 꽃노랑총채벌레의 기주 선호도와 기주 내에서 국부 기상 조건에 따라 재배지 중심부를 따라 형성된 선호하는 기상 환경조건에 따라 집중 분포하였던 것으로 추정된다.

총채벌레 유인제를 이용하여 대량유살하는 방제기술이 주목을 받고 있다(Kirk et al., 2021). 이에 본 연구에서는 꽃노랑총채벌레에 적용되는 상용 유인제를 황색트랩에 추가하여 대량유살 가능성을 알아보았다. 그러나 두 가지 상용유인제 모두는 고추 재배지에 발생하는 꽃노랑총채벌레가 황색트랩의 유인되는 밀도 이상으로 뚜렷하게 포획 밀도를 증가시키지 못하였다. 총채벌레의 경우 종내 상호 교신을 위해 성페로몬, 자취페로몬, 접촉인식페로몬, 경보페로몬 및 집합페로몬이 이용되고 있는 것으로 알려지는 데 이 가운데 잘 연구된 것이 집합페로몬이다. 총채벌레에서 알려진 집합페로몬은 (*R*)-lavandulyl acetate (RLA)와 neryl (*S*)-2-methylbutanoate (NMB)로서 solid phase microextraction 기술로 수컷 집단에서 비롯된 휘발성물질을 추출하여 동정하였다(Hamilton et al., 2005). 이 집합페로몬의 생산은 총채벌레 외분비샘인 sternal gland로 추정된다. 이 물질은 청색 트랩에 NMB 단독 또는 두 물질을 1:1로 혼합하여 부착한 결과 포획능력을 현격하게 높였으나 RLA 단독으로는 포획 증가 효과를 주지 못하였다(Broughton and Harrison, 2012; Sampson and Kirk, 2013). 비교적 유인효과가 낮은 RLA를 대체하기 위해 다른 총채벌레류(*Megalurothrips sjostedti*)에서 보고된 유사물질(Niassy et al., 2019)로서 RLA의 아세테이트를 methylbutanoate로 치환한 LMB를 본 연구에서 합성하였다. 따라서 RMB와 NMB의 상이한 혼합물을 이용하여 Y-튜브 행동실험에 분석한 결과 1:6~1:7의 비율에서 유인력이 가장 높은 것을 확인하였다. 그러나 집합페로몬을 원재로 한 상용루어 및 유인활성이 높은 1:7의 제조 혼합물을 황색 트랩에 추가하였지만 뚜렷한 유인 상승효과를 보여주지 못하였다. 식물체 추출물 가운데 methyl isonicotinate (MIN)가 총채벌레 유인에 효과적으로 널리 이용되어 왔다(Teulon et al., 2017). 그러나 본 연구에서는 이를 바탕으로 상용화된 유인물질을 황색트랩에 적용하였지만 황색 트랩에 유인된 밀도 이상으로 유인력을 상승시키지 못하였다. 실제 Y-튜브 행동실험에서도 MIN은 꽃노랑총채벌레의 암수 유인에 효과적으로 작용하였다. 그러나 효과적 농도로 야외에 처리한 결과 상용유인제와 마찬가지로 황색트랩 유인 효과 이상의 추가 유인효과는 나타나지 않았다.

이상의 집합페로몬 및 MIN의 신호물질들이 야외 조건에서 유인력 상승효과를 발휘하지 못한 것을 해석하기 위해 꽃노랑총채벌레가 유인물질과 꽃 사이의 상대적 유인효과를 분석한 결과 이들 유인물질에 비해 꽃에 선호성이 높은 것이 Y-튜브 행동실험으로 나타났다. 즉, 꽃노랑총채벌레가 고추 꽃에 대한 높은 선호성은 야외 조건에서 유인물질에 대한 상대적 유인효과를 나타내지 못하였다는 결과이다. 이는 꽃이 없이 재배되는 대파에 발생한 꽃노랑총채벌레 집단에 대해서는 집합페로몬이 높은 유인효과에서 뒷받침하고 있다. 이상의 결과는 고추 꽃에서 발산되는 냄새물질이 꽃노랑총채벌레의 유인에 두 가지 상용 유인물질보다 유인력이 높다는 것을 제시하고 있다. 추후 고추 꽃에서 발산하는 냄새물질의 동정이 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01578901)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

저자 직책 & 역할

김철영: 안동대, 대학원생; 총채벌레 행동분석
 권기면: 생물이용연구소, 소장; 총채벌레 동정 실험수행
 김용균: 안동대, 교수; 실험설계 및 논문작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Broughton, S., Harrison, J., 2012. Evaluation of monitoring methods for thrips and the effect of trap colour and semiochemicals on sticky trap capture of thrips (Thysanoptera) and beneficial insects (Syrphidae, Hemerobiidae) in deciduous fruit trees in Western Australia. *Crop Prot.* 42, 156-163.
- 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.
- Dingle, H., Drake, V.A., 2007. What is migration? *Bioscience.* 57, 113-121.
- 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.
- Fatnassi, H., Pizzol, J., Senoussi, R., Biondi, A., Desneux, N., Poncet, C., Boulard, T., 2015. Within-crop air temperature and

- humidity outcomes on spatio-temporal distribution of the key rose pest *Frankliniella occidentalis*. *PLoS One* 10, e0126655.
- Hamilton, J.G., Hall, D.R., Kirk, W.D., 2005. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *J. Chem. Ecol.* 31, 1369-1379.
- Isard, S.A., Gage, S.H., 2001. Flow of life in the atmosphere: an airscape approach to understanding invasive organisms. Michigan State University Press, East Lansing, MI.
- Johansen, N.S., Torp, T., Solhaug, K.A., 2018. Phototactic response of *Frankliniella occidentalis* to sticky traps with blue light emitting diodes in herb and *Alstroemeria* greenhouses. *Crop Prot.* 114, 120-128.
- Kim, C., 2000. Review of disease incidence of major crops in 2000. *Korean J. Pestic. Sci.* 5, 1-11.
- Kim, T.Y., Jang, C., Kang, H.W., Choi, J.H., Lee, H.W., Lee, J.W., Lee, D.H., Yang, S.K., Lee, S.Y., Min, C.G., Lee, D.W., 2021a. Comparison of pest occurrence and viral disease incidence rate with reduced the application of pesticides in red pepper field. *Korean J. Pestic. Sci.* 25, 1-10.
- Kim, C.Y., Choi, D.Y., Kang, J.H., Ahmed, S., Kil, E.J., Kwon, G.M., Lee, G.S., Kim, Y., 2021b. Thrips infesting hot pepper cultured in greenhouses and variation in gene sequences encoded in TSWV. *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 387-401.
- Kim, S., Kim, S.B., Kim, D.S., 2019. A preliminary study on the attractiveness of yellow sticky trap for insect pests according to the installation angle of traps in strawberry farms. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 143-149.
- Kirk, W.D., Terry, L.I., 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agric. For. Entomol.* 5, 301-310.
- Kirk, W.S.J., de Kogel, W.J., Koschier, E.H., Teulon, D.A.J., 2021. Semiochemicals for thrips and their use in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 66, 101-119.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2020. Area of cultivation of outdoor vegetables. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITL&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITL. (Accessed Sep. 28. 2021).
- Lee, S., Lee, J., Kim, S., Choi, H., Park, J., Lee, J., Lee, K., Moon, J., 2004. The incidence and distribution of viral diseases in pepper by cultivation types. *Res. Plant Dis.* 10, 231-240.
- Moon, H.C., Cho, I.K., Im, J.R., Goh, B.R., Kim, D.H., Hwang, C.Y., 2006. Seasonal occurrence and damage by thrips on open red pepper in Jeonbuk Province. *Korean J. Appl. Entomol.* 45, 9-13.
- Niassy, S., Tamiru, A., Hamilton, J.G.C., Kirk, W.D.J., Mumm, R., Sims, C., de Kogel, W.J., Ekesi, S., Maniania, N.K., Bandi, K., Mitchell, F., Subramanian, S., 2019. Characterization of male-produced aggregation pheromone of the bean flower thrips *Megalurothrips sjostedti* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Chem. Ecol.* 45, 348-355.
- Oke, T.R., 1987. Boundary layer climates. Methuen, London, UK.
- 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.
- RDA (Rural Development Administration), 2020. Pepper – agricultural technology guide 115 (revised edition), RDA, Jeonju, Korea.
- 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.
- Röth, F., Galli, Z., Toth, M., Fail, J., Jenser, G., 2016. The hypothesized visual system of *Thrips tabaci* (Lindeman) and *Frankliniella occidentalis* (Pergande) based on different coloured traps' catches. *North-Western J. Zool.* 12, 40-49.
- Sampson, C., Kirk, W.D., 2013. Can mass trapping reduce thrips damage and is it economically viable? Management of the Western flower thrips in strawberry. *PLoS One* 8, e80787.
- SAS Institute, 1989. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Seo, M.H., Lee, S.C., Yang, C.Y., Yoon, J.B., 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, 544-549.
- Smith, E.A., Fuchs, M., Shields, E.J., Nault, B.A., 2015. Long-distance dispersal potential for onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) and Iris yellow spot virus (Bunyaviridae: Tospovirus) in an onion ecosystem. *Environ. Entomol.* 44, 921-930.
- Takabayashi, J., Dicke, M., 1992. Response of predatory mites with different rearing histories to volatiles of uninfested plants. *Entomol. Exp. Appl.* 64, 187-193.
- Teulon, D.A.J., Davidson, M.M., Perry, N.B., Nielsen, M.C., Castañé, C., Bosch, D., Riudavets, J., van Tol, R.W.H.M., de Kogel, W.J., 2017. Methyl isonicotinate – a non-pheromone thrips semiochemical – and its potential for pest management. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 37, 50-56.
- Webster, C.G., Reitz, S.R., Perry, K.L., Adkins, S.A., 2011. Natural mRNA 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.
- 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.
- 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.