

노지 고추재배지에 발생하는 총채벌레를 대상으로 methyl isonicotinate와 집합페로몬 혼합물을 이용한 고효율 대량유살 기술

김용균* · 진가현 · 박현제 · 김철영

안동대학교 식물약학과

High Efficient Mass-trapping Technique using a Mixture of Methyl Isonicotinate and Aggregation Pheromone to Control the Thrips Infesting Hot Peppers in Open Field Conditions

Yonggyun Kim*, Gahyun Jin, Hyunje Park and Chulyoung Kim

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

ABSTRACT: A control technique using mass-trapping was developed against thrips infesting hot peppers cultivating in greenhouses. It was essential to develop effective lure(s) attracting thrips for the control technique. Especially, mass-trapping using aggregation pheromone (AP) of the thrips was not much effective in open field cultivating hot peppers. This study aimed to develop a new lure to enhance the attractiveness of AP-based mass-trapping. In addition, this study was designed to investigate the decrease of attractiveness of the AP-based mass-trapping in the open field conditions. Methyl isonicotinate (MIN) as a new lure was assessed by the laboratory olfactometry and showed its attractiveness to thrips and its mixture effect with AP to attract the thrips. These results led us to test the AP+MIN mixture in the open field conditions cultivating hot peppers. The mixture significantly enhanced the mass-trapping efficacy in the open field conditions. Especially, the significant increase of the captured numbers was found in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. Furthermore, the increase of the AP concentration in the mass-trapping significantly increased the captured numbers in *F. occidentalis* and other thrips occurring in the hot pepper field. This study demonstrated the difference in the AP-based mass-trapping efficacy of the thrips between greenhouse and open field conditions. It also showed the increase of mass-trapping efficacy by increasing AP concentration in the trap. Especially, this study proposes a high efficient mass-trapping technology by the addition of MIN to AP especially against *F. occidentalis*.

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

초록: 대량유살 기술을 통한 총채벌레 방제 기술이 시설 고추재배지를 중심으로 개발되었다. 이 기술의 핵심 요인은 효과적인 유인제 개발에 있다. 집합페로몬에 의존하였던 유인전략은 노지 재배지에서는 뚜렷한 효과를 보이지 않았다. 따라서 본 연구는 노지 고추재배지에서 총채벌레의 대량 유살을 위해 새로운 유인물질의 추가가 필요하였다. 또한 노지재배지에서 집합페로몬의 유인력 감소 원인을 규명할 필요가 있었다. 새로운 유인 물질로서 methyl isonicotinate (MIN)이 제시되었고, 이 물질이 실내 유인행동분석을 통해 총채벌레에 대한 자체 유인력은 물론이고 집합페로몬과 협력효과를 보였다. 이를 바탕으로 집합페로몬과 혼합물 형태로 노지 고추재배지에서 분석한 결과 총채벌레의 포획밀도를 증가시켰다. 특히 이러한 증가는 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)에서 뚜렷하게 나타났다. 유인트랩에 집합페로몬의 함량 증가는 노지 고추재배지에서 꽃노랑총채벌레는 물론이고 다른 총채벌레류의 포획밀도를 뚜렷하게 증가시켰다. 본 연구는 집합페로몬 유인력이 시설재배지와 노지재배지 사이에서 차이가 있으며, 노지 재배지의 경우 효과적인 유인력을 발휘하기 위해서는 더욱 많은 집합페로몬 함량을 요구한다는 것을 밝혔다. 또한 본 연구는 집합페로몬에 MIN을 추가하여 꽃노랑총채벌레에 대한 고효율 유인제를 개발할 수 있는 기술을 제시한다.

검색어: 꽃노랑총채벌레, 대량유살, 고추, 집합페로몬, 메틸이소니코티네이트

*Corresponding author: hosanna@anu.ac.kr

Received July 12 2023; Revised October 6 2023

Accepted October 13 2023

조미채소로 분류되는 고추(*Capsicum annuum* L.)는 안동을 중심으로 경북이 국내 최대 산지이다(KOSIS, 2020). 이 지역에서는 주로 5월에 정식하여 8월 이후에 열매를 수확하게 된다. 그러나 최근 시설 고추재배지 확대로 재배 및 수확시기의 차이로 재배양식에 따라 병해충의 발생도 상이하였다(Kim et al., 2022). 고추를 가해하는 다양한 병해충 가운데 식물바이러스를 옮기는 진딧물과 총채벌레류가 이러한 재배환경 변화와 더불어 피해가 증가하고 있다(Seo et al., 2011; 2018).

총채벌레는 국내 토착종인 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*)와 더불어 외래종인 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)가 고추의 우점종으로 자리하고 있다(Kim et al., 2021). 특히 이 두 종의 총채벌레는 흡즙을 통한 직접피해는 물론이고 tomato spotted wilt virus (TSWV)를 전파하는 간접피해를 주고 있다(Rotenberg et al., 2015). 최근 이른 봄철 고추 육묘장에서는 파총채벌레(*Thrips tabaci*)가 발생하였으며, 이들의 체내에서 TSWV가 발견되어 고추에 TSWV에 기인한 식물병은 바로 이들 세 종류의 총채벌레에 의해 야기된다고 볼 수 있다(Kim et al., 2023a). 이러한 총채벌레에 의한 직간접 피해를 막기 위해서는 총채벌레의 방제가 요구된다. 최근 TSWV를 직접적으로 방제할 수 있는 anti-TSWV 화합물이 보고되고 있지만(Liu et al., 2021), 이 바이러스를 옮겨주는 매개충 방제가 이 바이러스에 기인한 식물병을 억제하는 데 가장 유효하다.

총채벌레 방제를 위해 다양한 화학 살충제가 등록되어 고추 농가에서 사용되고 있다(Cho et al., 2018). 그러나 빈번한 화학 농약 처리에 따라 발생하는 총채벌레의 저항성 발달 및 천적 감소로 새로운 살충제의 개발을 요구하게 되고, 이에 따라 인축은 물론이고 환경오염의 부작용을 낳게 하였다. 이 화학적 방제를 대체하기 위해 천적을 이용한 생물적 방제가 고추 재배지에 시도되고 있다(Kim et al., 2012). 또한 집합페로몬과 같은 신호물질(semiochemicals)을 이용하여 대량유살(mass-trapping) 기술이 총채벌레 방제에 제안되었다(Sampson and Kirk, 2013). Kim et al. (2023b)은 두 종류의 성분(neryl (S)-2-methylbutanoate (NMB)와(R)-lavandulyl acetate (LA))으로 구성된 꽃노랑총채벌레의 집합페로몬을 점착트랩에 추가하여 시설 고추재배지에 발생하는 총채벌레 대량유살 기술에 적용한 결과 해충 발생 밀도를 낮추고 이들이 매개하는 TSWV 감염을 막았다. 그러나 이 대량유살 기술이 노지 재배지에서는 검증되지 않았다. 시설재배지와 달리 노지재배지에서는 방출되는 페로몬 양이 보다 희석되기에 유살 밀도에서 큰 차이를 보이는 것이 관찰을 통해 이해되고 있다. 즉, 노지와 시설재배지에서의 차이를 보다 정밀하게 분석할 필요가 있다.

총채벌레를 유인할 수 있는 신호물질 탐색이 식물체 유래 pyridine 화합물을 중심으로 개발되어 왔다(Teulon et al., 2007).

이 가운데 methyl isonicotinate (MIN)가 *Capsicum* 속 작물을 가해하는 꽃노랑총채벌레에 높은 유인력을 갖는다고 보고되었다(Davidson et al., 2007). Y-자 냄새행동분석을 통해 MIN이 유사한 ethyl isonicotinate에 비해서 100배 이상의 낮은 농도에서도 유인효과를 갖는다고 발표하였다(Davidson et al., 2008). 따라서 이 물질을 집합페로몬에 추가하여 총채벌레 대량유살용 고효율 유인제로 개발하는 데 후보 물질로 고려하였다.

본 연구는 노지 고추 재배지에 발생한 총채벌레를 대량유살 기술을 통해 방제할 목적으로 효과적 유인트랩을 개발하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 기존에 시설재배지에서 개발된 캔트랩을 이용하여 유인효과가 높은 유인제를 개발하였다. 이를 위해 집합페로몬 기반에 추가적으로 MIN 물질의 추가에 따른 유인력 향상 효과를 검증하였다. 또한 시설재배지와 다르게 노지 지역에서 대량 유살 트랩에 포함된 집합페로몬의 유효 약량을 추적하였다.

재료 및 방법

공시충 실내사육

꽃노랑총채벌레는 국립농업과학원(전주) 작물보호부에서 분양받아 증식시켰다. 사육 환경조건은 온도 25±2°C, 상대습도 65±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. 대만총채벌레는 충청북도 괴산군에 위치한 고추재배지에서 채집하였다. 채집된 개체를 10세대 이상 누대 사육하여 증식시켰다. 사육조건은 상위의 방법과 동일하게 사육하였다. 5일 동안 발아시킨 강낭콩을 유충과 성충의 먹이로 제공하였다. 파총채벌레는 경상북도 안동에 위치한 대파재배지에서 채집하였다. 채집된 개체는 대파(*Allium fistulosum*)를 먹이로 상기 실내조건에서 증식시켰다.

시험물질

꽃노랑총채벌레 집합페로몬인 NMB와 LA는 에이디(안동, 경북)에서 합성하였다. 일반 유인제로 알려진 methyl isonicotinate (MIN)는 Sigma-Aldrich Korea (서울)에서 구매하였다. 헥산(hexane) 용매는 덕산(서울)에서 구매하였다.

Y-튜브 냄새행동분석

Y-튜브 생물검정은 Takabayashi and Dicke (1992) 방법으

로 진행하였다. Y-튜브는 유리 재질로 길이는 10 cm, 양팔의 각도는 45°로 벌어지며, 각 팔의 길이는 8 cm, 지름은 2 cm였다. 핵산용매를 이용하여 NMB, LA 및 MIN을 농도별로 조제하였다. 대조구는 핵산을 이용하였다. 각 행동분석은 20 마리의 총채벌레 성충(우화 후 3일 이내)을 투입 후 산소발생기(대광전자, 서울)에 카본필터를 통해서 신선한 공기를 Y-자 연결관에 공급해주었다. 성충 투입 후 10분 동안 갈림길에서 각각의 처리 또는 대조구로 이동한 개체수를 계수하였다. 갈림길까지 이동하지 않은 개체들은 무반응으로 표기하였다. 모든 처리는 4반복으로 실시되었다. 매 반복 시 대조구와 처리구를 바꾸어 위치에 따른 선호성을 배제하였다. 시험에 사용된 Y-튜브는 메탄올(덕산)로 세척한 후 재사용하였다.

캔트랩 제작

캔트랩의 제작은 Kim et al. (2022)의 방법으로 진행하였다. 즉, 무색 철재 원통(16.6 cm 지름 × 17 cm 높이, 에스알코리아, 평택, 경기)에 황색 염료를 3회 도색하였다. 부착용 목재 막대(두께 2.5 cm)를 약 15 cm 길이부가 되도록 원통에 고정하였다. 목재 길이부가 야외 고추 포장에서 고추를 지탱하는 지지대에 연결되었다. 이 황색캔에 내부에 끈끈이 물질이 도포된 무색 비닐봉지를 접착물질이 외부로 노출이 되도록 뒤집어 덮었다. 이때 처리용 비닐봉지는 지퍼백(20 × 18 cm, 한결포장, 군포, 경기)을 이용하였다. 우선 150 g의 접착물질(Tanglefoot, Contech Electronics, Rochester, NY, USA)을 100 ml의 핵산에 용해시켰다. 기존의 시설재배지 기준(Kim et al., 2023b)으로 접착물질에 집합페로몬을 추가할 경우 NMB는 35 mg 그리고 LA는 5 mg을 첨가하였다. 이 집합페로몬 양을 본 연구에서는 기준량(equivalent)으로 간주하였다. MIN을 첨가할 경우 200 mg을 첨가하였다. 처리된 끈끈이 용액을 각 지퍼백에 5 ml 분주하고 개구부를 밀봉한 후 접착물질을 내면에 고루 도포하였다.

야외시험

AP와 MIN의 혼합 효과를 분석하기 위해 2023년 5월 25일부터 3주간 경북 안동시 송천동에 소재한 고추재배지에서 야외 검증이 실시되었다. 유인물질이 담긴 캔트랩을 난괴법 4반복으로 임의 배치하였다(Fig. S1). 반복 또는 처리 간 간섭을 줄이기 위해 최소 4 m의 트랩 간격을 유지하였다. 끈끈이 지퍼백을 매주 수거하고 교체하여 주었다. 총채벌레류의 밀도 조사를 위하여 수거한 끈끈이 지퍼백을 실험실로 가져와 해부현미경(M165FC, Leica, Wetzlar, Germany) 하에서 총채벌레를 동정하였다. 총채벌레의 동정 방법은 Kim et al. (2021)의 방법을 따랐다.

AP 농도별 유인 효과는 상기 동일한 지점에서 2023년 6월 22일부터 1주간 야외 검증이 실시되었다. 상이한 농도의 AP가 담긴 캔트랩을 난괴법 3반복으로 임의 배치하였다. 이후 조사 분석은 상기의 방법을 따랐다.

통계분석

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

결과

집합페로몬(AP)과 methyl isonicotinate (MIN) 혼합 처리의 유인력

세 종류의 총채벌레 성충에 대한 MIN의 유인력을 Y-튜브 행동분석을 통해 비교하였다(Fig. 1). 꽃노랑총채벌레(Fo)의 경우 농도가 증가함에 따라 MIN 쪽으로 유인되는 행동을 보였

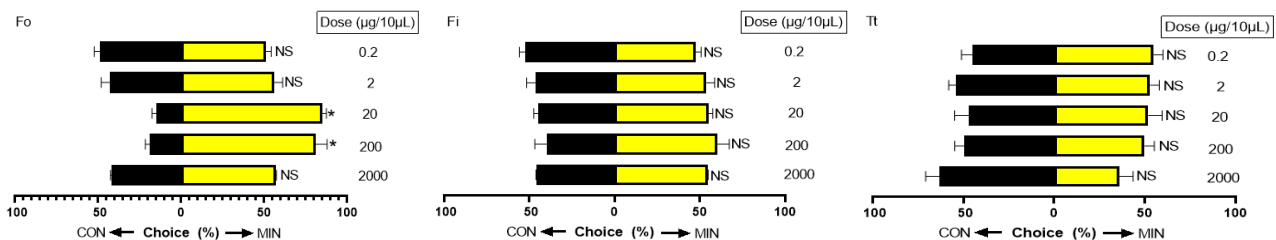


Fig. 1. Attracting efficacy of methyl isonicotinate (MIN) against different thrips adults (< 3 days old after emergence) using Y-tube olfactometry, which include *F. occidentalis*(Fo), *F. intonsa*(Fi), and *T. tabaci*(Ti). Each assay used 20 adults and was replicated four times by exchanging control and treatment positions in every replication. Asterisk indicates significant difference between two choices at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

다. 그러나 높은 농도에서는 다시 선호성을 잃어버린 행동을 보여 특정 농도에서만 유인력을 보이는 결과를 보였다. 반면에,

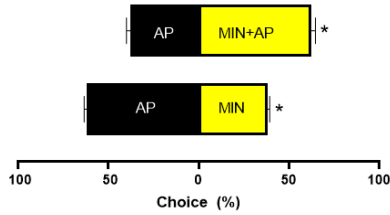


Fig. 2. Attracting efficacy of methyl isonicotinate (MIN), aggregation pheromone (AP), or their mixture against *F. occidentalis* adults (< 3 days old after emergence) using Y-tube olfactometry. Each assay used 10 adults and was replicated four times by exchanging control and treatment positions in every replication. Asterisk indicates significant difference between two choices at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' stands for no significance.

대만총채벌레(Fi)와 파총채벌레(Tt)에서는 이러한 유인력인 조사한 모든 농도에서 보이지 않았다.

꽃노랑총채벌레에 대한 MIN의 유인력을 AP와 혼합하여 유인력 증가 효과를 분석하였다(Fig. 2). 비록 MIN이 AP에 비해 유인력은 떨어지지만, 이들 두 유인물질의 혼합은 AP 단독에 비해 증가하는 결과를 보였다.

집합페로몬과 methyl isonicotinate 혼합물의 야외 유인력

앞의 실내 유인력 결과를 야외 노지 고추 재배지에 적용하여 현장 유인력을 검증하였다(Fig. 3). 고추 정식(5월 중순) 이후 3주간 진행된 분석에서 조사기간이 진행함에 따라 전체 총채벌레의 밀도(Fig. 3A)가 증가하였다('week' 효과 분석, Table 1). 대부분 포획된 총채벌레는 꽃노랑총채벌레(Fig. 3B), 대만총채

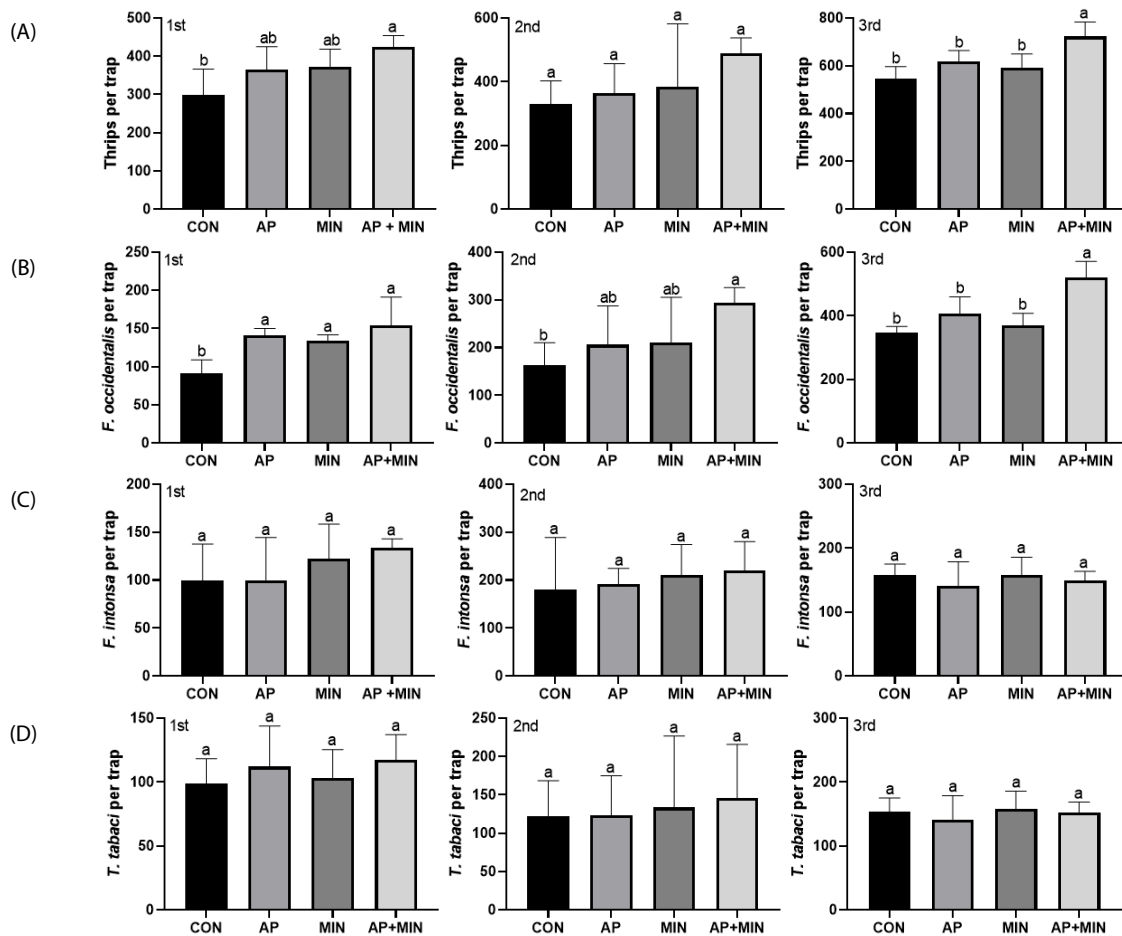


Fig. 3. Field assays of attracting efficacy of methyl isonicotinate (MIN), aggregation pheromone (AP), or their mixture against thrips occurring in a hot pepper field. Each treatment was replicated four times. Assays were conducted every week from April to May in 2023: 1st week (May 25 – June 1), 2nd week (June 1 – June 8), and 3rd week (June 8 – June 15). Collected thrips were diagnosed by morphological characters (Kim et al., 2021) into all thrips (A) including unidentified thrips, *F. occidentalis* (B), *F. intonsa* (C), and *T. tabaci* (D). Different letters above error bars indicates significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

Table 1. ANOVA analysis of the attractiveness of thrips to a mixture of methyl isonicotinate (MIN) and aggregation pheromone (AP). Data used in this ANOVA are depicted in Fig. 3. For attraction, four different treatments were used on the sticky trap: (1) yellow (2) yellow+MIN (3) yellow+AP (4) yellow+MIN+AP. Experimental unit was a trap. Each treatment was replicated four times and deployed in the field with a randomized block design

Source	df	ss	ms	F	P
1st week					
Treatment	3	32077.187	10692.395	2.600	0.046
Replication	3	9663.187	3221.062	1.200	0.366
Error	9	24105.562	2678.173		
Total	15	68943.937			
2nd week					
Treatment	3	57895.500	19298.500	1.660	0.243
Replication	3	63246.500	21082.166	1.810	0.214
Error	9	104559.000	11617.666		
Total	15	225701.000			
3rd week					
Treatment	3	68448.187	22816.062	7.430	0.008
Replication	3	7820.187	2606.729	0.850	0.501
Error	9	27623.56	3069.284		
Total	15	103891.937			
All weeks					
Week	2	624908.791	312454.395	55.690	< 0.0001
Treatment	3	148868.666	49622.888	8.840	0.0001
Replication	3	27748.166	9249.388	1.650	0.193
Error	39	218820.042	5610.770		
Total	47	1020345.667			

벌레(Fig. 3C) 및 파총채벌레(Fig. 3D)로 구성되었다. 전체 총채벌레 밀도에서 보면 AP와 MIN을 혼합한 트랩에서 2주차를 제외하고 뚜렷한 포획밀도 증가를 보였다(각 주별 분석, Table 1). 세부적으로 총채벌레 종류로 나누어 살펴보면, 꽃노랑총채벌레에 대해 AP+MIN의 유인력 증가가 모든 조사기간에 나타났다. 그러나 대만총채벌레와 파총채벌레에서는 이러한 유인력 증가 경향을 나타내지 않았다. 흥미로운 사실은 시설재배지에서 높은 유인력 증가를 보였던 AP 처리가 노지 재배지에서 1주차 꽃노랑총채벌레 조사 기간에서 나타났지만, 다른 시기 및 다른 총채벌레에서는 영향을 주지 않아 시설재배지와 노지에서 집합페로몬의 유인력 차이를 나타냈다.

집합페로몬 함량과 총채벌레 유인력 관계

시설재배지 조건에서 높은 유인력을 보였던 집합페로몬이 앞의 결과에서 보면 노지 조건에서는 황색트랩과 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 이유가 집합페로몬의 처리량에 기인되었

는 지를 분석하였다. MIN은 앞의 Y 튜브 행동 반응에서 보면 높은 농도에서 보다는 일정량에서 유인력을 보였기에 노지 조건에서 유인력 증가를 피하기 위해 집합페로몬의 처리량에 따른 총채벌레 포획량 차이를 분석하였다. 기준량(equivalent)은 시설재배지에서 처리된 집합페로몬의 함량으로 설정하였다. 이를 기준으로 5배 또는 10배로 높여서 포획된 총채벌레의 종류와 밀도를 계수하였다(Fig. 4). 전체 총채벌레 포획수(Total)로 살펴보면 시설재배지 집합페로몬량(1x)이 단순 황색트랩에 포획되는 밀도와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 5배와 10배의 농도로 증가시킨 결과 전체 포획량이 농도에 따라 증가하여 최대 약 3배까지 증가했다. 고추재배지의 포획 총채벌레 종류는 황색트랩 밀도(약 250 마리)를 기준으로 약 50%이 우점종을 차지하는 대만총채벌레(Fi)가 가장 많은 발생 밀도이고, 꽃노랑총채벌레(Fo) 및 파총채벌레(Tt) 차례로 많은 밀도를 보였다. 또한 형태 분류만으로 동정되지 못한 미분류 총채벌레(Others)도 약 25%를 차지하였다. 포획된 총채벌레 종류별로 살펴보면, 특히 대만총채벌레와 꽃노랑총채벌레는 처리 농도에 따라 포

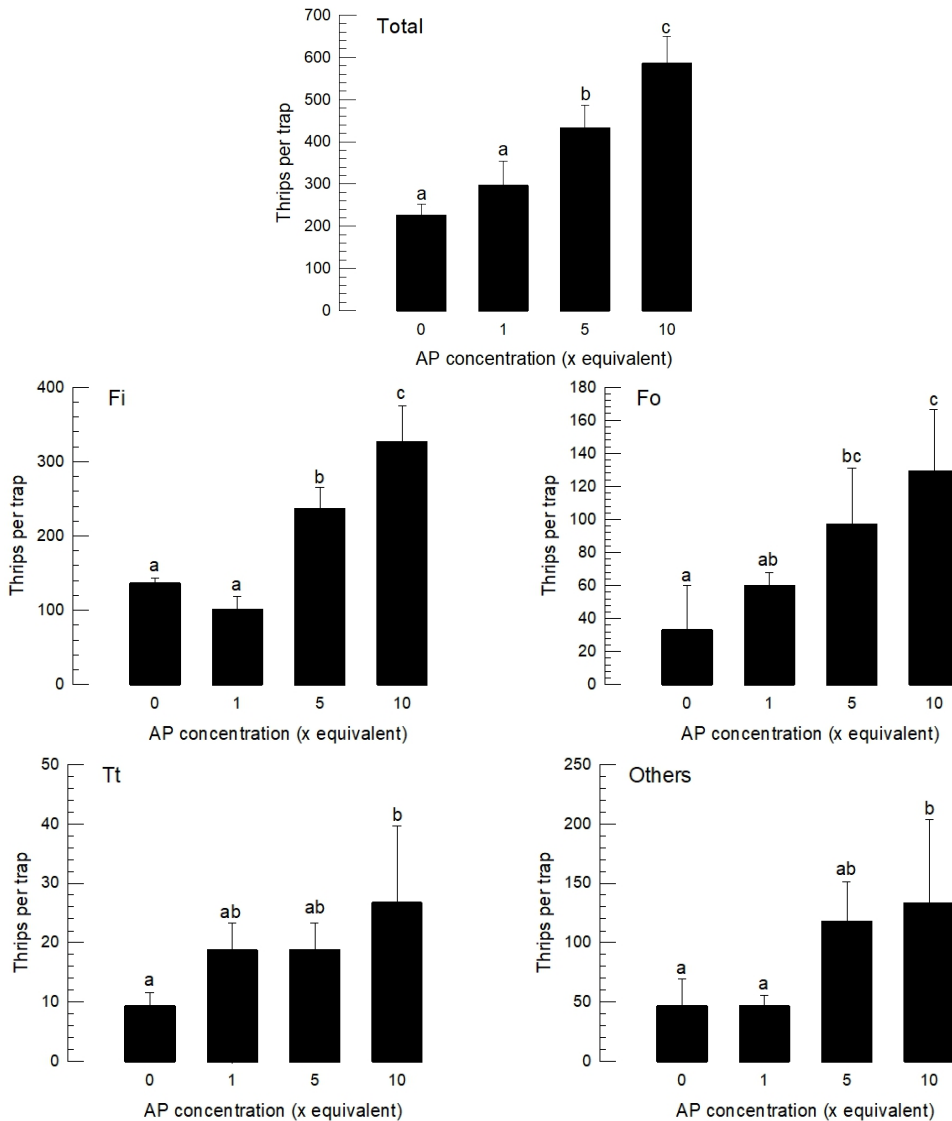


Fig. 4. Effect of the aggregation pheromone (AP) concentration on attracting thrips in a hot pepper field. An equivalent (1x) concentration indicates 35 mg of NMB, 5 mg of LA, and 150 g of sticky material in 100 mL of hexane. The treated concentrations were 0, 1, 5, and 10 times (x) to the equivalent amount. Each treatment was replicated three times. Assays were conducted from June 22 to June 29 in 2023. Collected thrips were diagnosed by morphological characters (Kim et al., 2021) into *F. occidentalis* (Fo), *F. intonsa* (Fi), *T. tabaci* (Ti), and unidentified thrips (Others). 'Total' represents all the thrips number. Different letters above error bars indicates significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

획밀도 증가를 보인 반면, 파충채벌레와 미동정 총채벌레는 10 배의 농도에서만 뚜렷한 증가를 보였다.

고찰

다양한 해충방제기술이 총채벌레 방제에 적용되고 있다 (Reitz et al., 2020)이 가운데 대량유살 기술이 여러 시설재배지를 중심으로 총채벌레 및 유사 미소곤충류를 대상으로 진행되고 있다. 주로 황색접착트랩을 이용하여 기주 주변으로 설치하

여 포획하고 있다. 이 기술에 집합페로몬을 첨가하여 포획효율을 약 4배가량 증가시켜 총채벌레의 밀도감소는 물론이고 이들이 전파하는 TSWV 감염을 현격하게 억제하였다(Kim et al., 2023b). 그러나 이 기술이 노지재배지로 응용되기 위해서는 무엇보다 시설재배지 조건만큼의 유인력이 보장되어야 했다. 그러나 선행 연구 관찰 자료를 토대로 개발된 캔트랩의 포획 능력이 노지재배지에서는 떨어지는 것으로 파악되었다. 이에 본 연구에서는 집합페로몬의 투입량 증가가 미치는 총채벌레 포획 효과와 새로운 추가적 유인제의 개발을 목표로 하였다.

노지 고추재배지에서는 시설재배지에서와 달리 기존의 집합페로몬 투입량으로 포획밀도를 증가시키지 못했다. 반면 기존 투입량에 5배 및 10배의 집합페로몬을 투입하면 포획밀도가 뚜렷하게 증가하였다. 이는 노지 재배지의 특징으로 발산된 집합페로몬이 시설재배지와는 달리 공기 중에서 쉽게 희석되어 유인효과를 발휘하지 않았을 것으로 추정된다. 집합페로몬은 꽃노랑총채벌레 수컷 성충에서 발산되는 향기 성분에서 최초로 발견되었고, 이들은 두 가지 테르펜 화합물의 복합체로서 NMB와 LA로 구성되었다(Hamilton et al., 2005). 이들은 스테로이드 생합성 과정 가운데 isopentenyl pyrophosphate 합성과정을 공유하였고, 이들의 중합과정에서 NMB와 LA로 파생되어 생성된 것으로 밝혀졌다(Khan et al., 2023). 합성장소는 수컷에 특이적 아랫관샘(sternal gland)으로 추정되었으나(Krueger et al., 2015), 최근 암컷에서도 이 집합페로몬의 생합성이 가능하다는 것이 밝혀져, 생합성 및 분비 장소에 대해서는 보다 심도있는 연구가 필요하다. 한편 동일한 집합페로몬 성분이 대만 총채벌레에서도 동정되었지만, 이들 사이에 유효 성분의 함량비로 종특이적 신호로 작용하고 있는 것 같다(Li et al., 2019). 본 연구에서 꽃노랑총채벌레의 함량비로 실험이 이루어졌지만, 대만총채벌레도 유인되고 투입량에 따라 포획밀도도 증가한 것은 아마도 이들의 유사한 집합페로몬 성분에 기인된 것으로 해석된다. 한편 이들 집합페로몬이 성충을 유인하는 데 유효농도가 꽃노랑총채벌레에서 0.027 ng/mL로 밝혀졌고, 이는 다른 유인제인 MIN과 비교하여도 약 100배 높은 것으로 제시하였다(Chappuis et al., 2023). 이러한 유효농도가 아마도 시설재배지에 비해 노지재배지에서는 활발한 공기 유통으로 쉽게 잃어버렸을 가능성을 제시하고 있다. 따라서 집합페로몬의 농도 증가에 따른 꽃노랑총채벌레의 포획밀도 증가는 이러한 페로몬 농도 증가에 따라 노지 조건에서 한계 유효농도를 맞추고 보다가 오래 유지할 수 있는 것으로 이해될 수 있다.

파총채벌레와 미동정 총채벌레도 높은 농도(x10)에서 꽃노랑총채벌레의 집합페로몬에 유인되는 것으로 보인다. 국내에는 분포하지 않는 콩류를 선호하는 총채벌레 일종인 *Megalourothrips sjostedti*는 생합성과정에서 일부 차이를 보이는 유사한 테르펜 종류의 집합페로몬인 (*R*)-lavandulyl 3-methylbutanoate (LMB)와 (*R*)-lavandulol (LOH)이 동정되었고, 수컷은 이들 LMB와 LOH 두 종류의 화합물 혼합물에 유인되는 반면 암컷은 주성분인 LMB에만 유인되었다(Niassy et al., 2019). LMB는 또한 오이총채벌레의 집합페로몬 성분으로 이 종에서는 이 물질 단독으로 기능을 담당하는 것으로 알려졌다(Akella et al., 2014). 반면에 또 다른 콩류 총채벌레 일종인 *Megalourothrips usitatus*는 또 다른 테르펜류인 (*2E,6E*)-farnesyl acetate이 집합페로몬

으로 동정되었다(Liu et al., 2020). 그러나 아직 파총채벌레에 대해서는 집합페로몬이 발견되지 않았는데 이는 아마도 이들의 생식형태가 암컷생산 단성생식으로(Khan et al., 2022) 교미 목적의 집합페로몬이 불필요할 수 있다. 그런데도 꽃노랑총채벌레 집합페로몬에 대해서 파총채벌레 유인 효과는 이들 총채벌레류가 유사한 테르펜 화합물에 반응하는 것으로 추정된다.

새로운 추가 유인제로서 methyl isonicotinate (MIN)이 야외 조건에서 꽃노랑총채벌레의 포획밀도를 증가시키는 데 유효하였다. MIN은 비페로몬 물질로서 최소 12종의 총채벌레를 유인하는 것으로 알려져 이 목적으로 상용되어 사용되고 있다(Teulon et al., 2017). 그러나 본 연구에서는 MIN이 유독 꽃노랑총채벌레에만 유인 효과를 발휘한 것으로 나타났다. 이 부분에 대해서는 추후 다양한 농도를 통해 다른 총채벌레에도 유인효과를 줄 수 있는 유효농도를 결정할 필요가 있다.

이상의 결과를 통해 본 연구는 노지 고추재배지에서도 기존의 황생점착트랩의 유인력을 보강할 수 있는 유인제 첨가 기술을 개발하였다. 특히 집합페로몬의 투입량을 시설재배지에 비해 5배 이상 추가하는 기술이 핵심이 되며, 여기에 MIN 유인제를 첨가할 경우 고효율 대량유살 기술이 가능할 것으로 제시한다.

사사

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

Supplementary Information

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

저자 직책 및 역할

김용균: 안동대, 교수; 실험설계 및 논문작성
진가현: 안동대, 대학원생; 모니터링; 총채벌레 분류
박현제: 안동대, 학부생; 모니터링
김철영: 안동대, 대학원생; 모니터링

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

Akella, S.V., Kirk, W.D., Lu, Y.B., Murai, T., Walters, K.F.,

- Hamilton, J.G., 2014. Identification of the aggregation pheromone of the melon thrips, *Thrips palmi*. PLoS ONE 9, e103315.
- Chappuis, C.J.F., Cleroux, M., Descombes, C., Barth, Y., Lefort, F., 2023. Attraction of *Frankliniella occidentalis* females towards the aggregation pheromone neryl (S)-2-methylbutanoate and kairomones in a Y-olfactometer. Insects 14, 562.
- 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.
- Davidson, M.M., Butler, R.C., Winkler, S., Teulon, D.A.J., 2007. Pyridine compounds increase trap capture of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in a covered crop. N. Z. Plant Prot. 60, 56-60.
- Davidson, M.M., Perry, N.B., Larsen, L., Green, V.C., Butler, R.C., Teulon, D.A., 2008. 4-Pyridyl carbonyl compounds as thrips lures: effectiveness for Western flower thrips in y-tube bioassays. J. Agric. Food Chem. 56, 6554-6561.
- 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.
- Khan, F., Roy, M.C., Kim, Y., 2022. Thelytokous reproduction of onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman 1889, infesting welsh onion and genetic variation among their subpopulations. Insects 13, 78.
- Khan, F., Kim, K., Sung, J., Lim, H., Kim, S.G., Choi, M.Y., Kim, Y., 2023. A novel physiological function of pheromone biosynthesis-activating neuropeptide in production of aggregation pheromone. Sci. Rep. 13, 5551.
- Kim, J.H., Byeon, Y.W., Choi, M.Y., Ji, C.W., Heo, S.Y., Park, E.M., Kang, E.J., 2012. Control efficacy of natural enemies on four arthropod pests found in greenhouse hot pepper. Korean J. Appl. Entomol. 51, 83-90.
- Kim, C., Choi, D., Kang, J., Ahmed, S., Kil, E., Kwon, G., Lee, G., Kim, Y., 2021. Thrips infesting hot pepper cultured in greenhouses and variation in gene sequences encoded in TSWV. Korean J. Appl. Entomol. 60, 387-401.
- 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.
- Kim, C., Abdisa, E., Esmaily, M., Khan, F., Lee, D., Kim, Y., 2023a. Detection of the TSWV-infected onion thrips, *Thrips tabaci*, and the viral multiplication in the insect vector. Korean J. Pestic. Sci. 27, 135-144.
- Kim, C., Khan, F., Kim, Y., 2023b. A push-pull strategy to control the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, using alarm and aggregation pheromones. PLoS ONE 18, e0279646.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2020. Area of cultivation of outdoor vegetables. [https://kosis.kr/statHtml/](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE)
- statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE. (accessed on 13 November, 2023).
- Krueger, S., Subramanian, S., Niassy, S., Moritz, G.B., 2015. Sternal gland structures in males of bean flower thrips, *Megalurothrips sjostedti*, and *Poinsettia thrips*, *Echinothrips americanus*, in comparison with those of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Arthropod Struct. Dev. 44, 455-467.
- Li, X., Geng, S., Zhang, Z., Zhang, J., Li, W., Huang, J., Lin, W., Bei, Y., Lu, Y., 2019. Species-specific aggregation pheromones contribute to coexistence in two closely related thrips species. Bull. Entomol. Res. 109, 119-126.
- Liu, P., Qin, Z., Feng, M., Zhang, L., Huang, X., Shi, W., 2020. The male-produced aggregation pheromone of the bean flower thrips *Megalurothrips usitatus* in China: identification and attraction of conspecifics in the laboratory and field. Pest Manag. Sci. 76, 2986-2993.
- Liu, Y., Chen, J., Xie, D., Song, B., Hu, D., 2021. First report on anti-TSWV activities of quinazolinone derivatives containing a dithioacetal moiety. J. Agric. Food Chem. 69, 12135-12142.
- 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.
- 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.
- Rotenberg, D., Jacobson, A.L., Schneweis, D.J., Whitfield, A.E., 2015. Thrips transmission of tospoviruses. Curr. Opin. Virol. 15, 80-89.
- 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, Inc., 1989. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Seo, J., Yi, Y., Kim, B., Hwang, J.M., Choi, S.W., 2011. Disease occurrence on red-pepper plants surveyed in Northern Kyungbuk province, 2007-2008. Res. Plant Dis. 17, 205-210.
- 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.
- 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., Hedderley, D., James, D.E., Fletcher, C.D., Larsen, L., Green, V.C., Perry, N.B., 2007. 4-Pyridyl

carbonyl and related compounds as thrips lures: effectiveness for onion thrips and New Zealand flower thrips in field experiments. *J. Agric. Food Chem.* 55, 6198-6205.

Teulon, D.A.J., Davidson, M.M., Perry, N.B., Nielsen, M.C.,

Castane, C., Bosch, D., Riudavets, J., van Tol, R.W.H.M., de Kogeleit, W.J., 2017. Methyl isonicotinate - a non-pheromone thrips semiochemical - and its potential for pest management. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 37, 50-56.