

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
주요 병해충 약제 저항성 방제기술 개발		작물보호	'24~'25	환경농업연구과	박소현
꽃노랑총채벌레 약제 저항성 모니터링 및 관리체계 구축		작물보호	'25	환경농업연구과	박소현
색인용어	약제 저항성, 저항성 지도, 방제기술, 꽃노랑총채벌레				

## ABSTRACT

This study was conducted to monitor insecticide resistance and establish a rapid management system for the Western flower thrips(*Frankliniella occidentalis*), a major pest that causes significant economic losses to horticultural crops. Given their short generation cycle and high fecundity, *F. occidentalis* populations rapidly develop resistance, particularly to neonicotinoids.

*F. occidentalis* populations were collected from 9 facility cultivation sites across 6 regions. Using these field populations, insecticide resistance levels were monitored a residual contact bioassay and the leaf dipping method. Bioassays revealed regional variations in insecticide efficacy. However, neonicotinoids, including acetamiprid, showed very low mortality regardless of formulation types(WP, WG, SL).

The regional insecticide resistance data will be integrated into the Insecticide Resistance Information Platform to provide farmers with customized pesticide recommendations and data-based management strategies. This system is expected to prevent pesticide misuse and contribute to sustainable crop production by establishing effective resistance management strategies within an Integrated Pest Management(IPM).

**Key words:** Insecticide resistance, resistance map, Control, *Frankliniella occidentalis*



## 1. 연구목표

총채벌레는 작물에 큰 경제적 손실을 주며, 식물 바이러스 전파를 통해 수확량을 감소시키는 주요 해충이다.(Hones, 2005; Mound et al., 2022; Reitz et al., 2020; Whitfield et al., 2005). 총채벌레 방제 방법은 화학적 방제가 주된 대응 방법이나(Mautino et al., 2012; Shelton et al., 2006), 총채벌레의 빈번한 번식과 짧은 세대 주기로 인한 약제 저항성 발생은 해충 관리를 어렵게 만든다(Gao et al., 2012).

최근 국내에서 네오니코티노이드 계통 살충제의 지속적 사용에 따라 약제에 대한 빠른 저항성 발달로 방제 효율 저하가 보고되고 있다(Lee et al., 2017). 이러한 해충의 약제 저항성 발달은 작물 생산성을 떨어뜨리고 방제 비용과 노동력 증가로 이어져 경제적 피해를 유발한다. 그러므로 지속적인 모니터링으로 방제 효율성을 높이고 약제 사용으로 인한 환경오염과 비효율적인 자원 사용을 줄일 필요가 있다. 약제 저항성의 발달은 지역에 따라 사용 약제가 다양하여 지역적 발달 양상에 차이가 있으며, 연도별로 저항성 수준이 변화하므로 지속적인 모니터링을 통하여 발달을 추적해야 한다.

본 연구에서는 해충의 약제 저항성 발달과 확산 억제에 위한 관리 체계를 구축하여 농업인들에게 공유하였다. 특히 농약 연용으로 인한 꽃노랑총채벌레의 저항성을 신속하게 진단할 수 있는 현장진단키트와 엽침지법을 토대로 지역별 최적의 약제 선별을 통해 방제 효율을 극대화하고자 본 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 엽침지법에 의한 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 검정

본 실험에서 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)를 대상으로 주로 사용되는 약제에 대한 약효를 지역별로 모니터링하였다. 약효 검정은 엽침지법을 사용하였으며, 시판되고 있는 살충제 6종 acetamiprid, spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr, cyantraniliprole, fluxametamide에 대하여 약제별 추천농도와 2배량 농도에 맞게 증류수로 희석하여 희석액에 오이 잎 절편(직경 3.5cm)을 30초간 침지 후, 30분간 건조시켰다. 수분공급을 위해 0.8%의 agar 배지를 만들어 그 위에 살충제 처리된 오이 절편을 뒷면이 위로 향하게 올려놓았다. 꽃노랑총채벌레 성충을 페트리디쉬당 20마리씩 접종하고 망사가 있는 뚜껑을 닫은 후 항온기(온도  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $\pm 60\%$ , 광주기 16시간 명:8시간 암 조건)에 두고, 72시간 후 3회 사충수를 조사하였다. 성충의 사망 여부는 곤충핀으로 시험 곤충을 건드렸을 때, 움직이지 않는 경우 사망한 것으로 판단하였다.

시험에 사용한 꽃노랑총채벌레는 2024년의 경우 여주, 고양, 이천에서 부추, 선인장, 국화에서 2025년은 화성, 김포, 이천에서 상추, 딸기, 국화, 부추에서 채집하였다(표 1). 채집 방법은 작물을 털어 그 충격으로 떨어지는 개체들을 흰 종이에 모아 흡충기



(sibata)로 5ml 바이알에 채집하였다. 채집된 개체는 실내에서 실체현미경(Zeiss, AXIO Zoom.V16)을 이용하여 육안 동정 후 사육실 조건에서(온도 25±1℃, 상대습도 ±60%, 광주기 16시간 명:8시간 암 조건) 1세대 누대 사육하여 실험에 사용하였다.

지역별 약효 검정 결과, 살충 효과가 낮은 약제에 대해 동일 작용기작(neonicotinoid 계열)과 제형별 약효 비교 실험을 진행하였다. 화성지역(본원) 시험 포장에서 자연발생한 꽃노랑총채벌레를 대상으로 엽침지법을 이용하여 검정하였다.

표 1. 꽃노랑총채벌레 채집 시기 및 지역

연도	채집 일자	시군	작물	재배형태	지역	위도	경도
2024	6. 17	여주	부추	하우스	능현동	36° 57' 76N	127° 74' 85E
	6. 7	고양	선인장	↗	일산서구 송산로	37° 68' 54N	126° 73' 12E
	8. 2	이천	국화	↗	호법면 단천리	37° 22' 23N	127° 40' 45E
2025	5. 23	화성	상추	하우스	기산동	37° 13' 17N	127° 2' 29E
	5. 23	화성	딸기	↗	팔탄면 노하리	37° 9' 12N	126° 51' 28E
	6. 5	김포	딸기	↗	월곶면 포내리	37° 42' 46N	126° 32' 57E
	7. 4	김포	국화	↗	고촌읍 태리	37° 35' 32N	126° 44' 54E
	5. 29	이천	상추	↗	호법면 송갈리	37° 26' 29N	127° 47' 61E
	5. 29	이천	부추	↗	호법면 송갈리	37° 26' 53N	127° 47' 61E

### 나. 현장진단키트(바이알법, RCVpW)에 의한 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 검정

현장진단키트(바이알법, Residual Contact Vial plus Water; RCVpW)를 이용한 약제 저항성 검정은 꽃노랑총채벌레 방제용으로 등록된 원제 5종 acetamiprid, spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr 및 cyantraniliprole을 대상으로 하였다(Kwon et al., 2015). 각 약제의 원제는 100% 아세톤을 이용하여 약제별 진단농도에 맞게 희석하여 5ml 바이알에 100µl씩 도포 후 흡휴드에서 롤러믹서를 통해 30분간 건조하였다. 약제별 3반복씩 수행하였으며 한 반복당 15~18마리의 꽃노랑총채벌레 암컷 성충을 유리 바이알에 접종하였다. 수분 제공을 위해 뚜껑 안쪽에 부착된 1mm×1mm 크기의 종이에 1µl의 증류수를 도포하였다(그림 1). 꽃노랑총채벌레가 접종된 바이알은 25℃ 암조건에 보관되었으며 모든 약제에 대해 접종 8시간 후 사충률을 확인하였다. 바이알법에 사용되는 진단농도는 꽃노랑총채벌레의 감수성 계통군 LC<sub>90</sub>의 2배가 되는 값이다. 꽃노랑총채벌레 현장진단키트 진단농도는 2023년에 수행한 ‘원예작물 약제 저항성 미소해충 관리기술 개발’에서 설정된 농도를 이용하였다(KIm et al., 2023).

시험에서 사용한 꽃노랑총채벌레는 2025년에 화성, 김포, 이천 3지역의 상추, 딸기, 국화, 부추 4작물에서 채집하였으며(표 1), 채집방법과 누대사육은 엽침지법과 같은 조건으로 하였다.



그림 1. 바이알법(RCVpW) 제작

#### 다. 꽃노랑총채벌레 플랫폼 활용 농가 약제 추천

꽃노랑총채벌레의 살충제 6종 acetamiprid, spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr, cyantraniliprole, fluxametamide의 엽침지법에 대한 약효 검정한 결과는 농업기상과 병해충(<https://agriweather.gg.go.kr>)의 약제 저항성 정보 플랫폼에 등록하였다. 등록된 약효 검정 결과에 대해 연구자와 농가 등 쌍방 간의 약제 저항성에 대한 정보를 교환할 수 있으며, 농업인들의 맞춤형 우수 약제 추천 및 방제 의사결정을 지원하는 자료로 활용할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

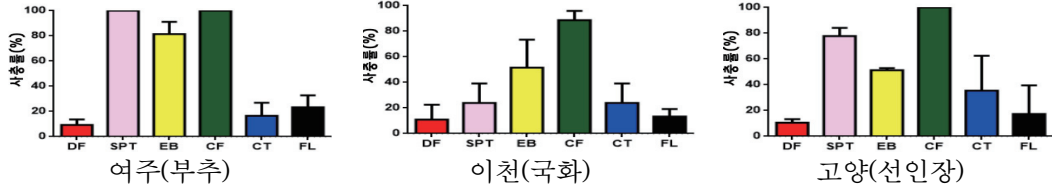
#### 가. 엽침지법에 의한 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 검정 결과

2024년에는 여주 등 3지역에서 채집된 꽃노랑총채벌레를 대상으로 6가지 시판 약제에 대해 약효 검정을 실시하였다. 추천농도(1배액)에서 neonicotinoid 계열 약제는 3지역 모두 약효가 20% 미만으로 낮았다(그림 2). 여주(부추)에서는 추천농도에서 spinetoram, chlorfenapyr에 90% 이상 높은 살충 효과를 보였으며, 이천(국화)에서는 추천농도에서 대부분의 약제에서 살충 효과가 낮았고, 고양(선인장)의 경우 chlorfenapyr가 90% 이상 높은 살충 효과를 보였다. 2배액 효과 검정 결과, 엽채류(부추)와 화훼류(선인장)에서는 약효가 확연히 증가하지 않았으나, 화훼류(국화)에서는 spinetoram과 emamectin benzoate에서 약효가 2배 이상 증가하여 90% 이상의 높은 살충 효과를 보였다.

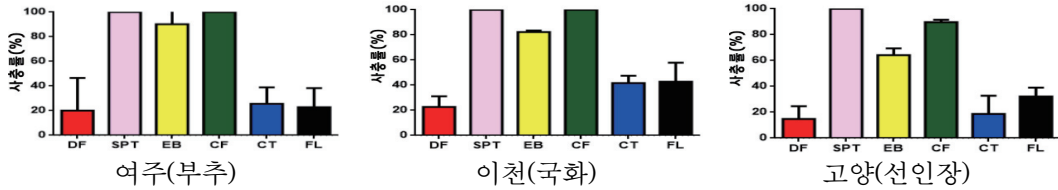
2025년에는 화성 등 3지역에서 채집된 꽃노랑총채벌레를 대상으로 6가지 시판 약제에 대해 약효 검정을 실시하였다. 화성, 김포, 이천 지역에서는 acetamiprid 약제에 대해 10% 미만의 낮은 살충 효과를 보였으며, 김포(국화)와 이천(부추)에서는 spinetoram에서 90% 이상의 높은 살충 효과를 보였다. 화성(상추, 딸기)에서는 6가지 약제에 대해서 모두 낮은 살충 효과를 보였으며, 이천(상추, 딸기)에서는 상대적으로 spinetoram 과 chlorfenapyr에서 살충 효과가 높았다. 2배량의 약효 검정한 결과, 추천농도와 비교하여 약효가 확연히 증가하지 않았다(그림 3).



지역별 약제 저항성 검정(1배액)



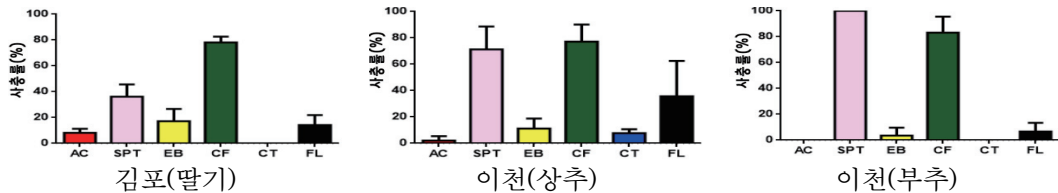
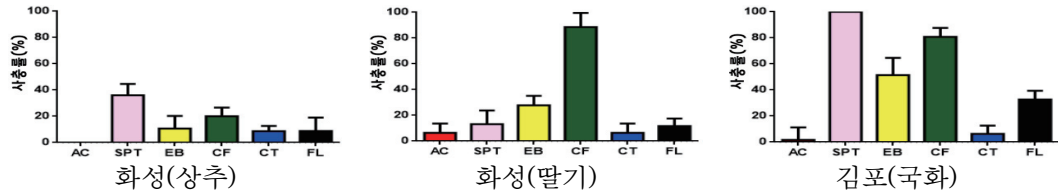
지역별 약제 저항성 검정(2배액)



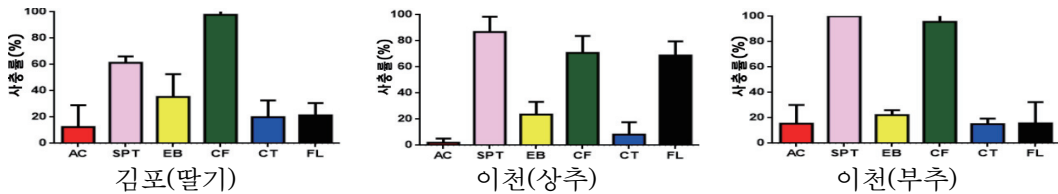
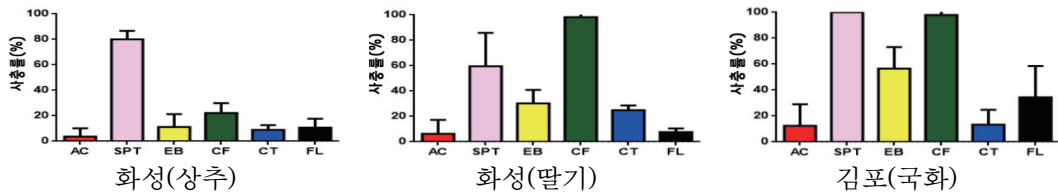
※ 약제: DF(Dinotefuran), SPT(Spinetoram), EB(Emamectin benzoate), CF(Chlorfenapyr), CT(Cyantraniliprole), FL(Fluxametamide)

그림 2. 2024년 지역별 약제 저항성 검정 결과

지역별 약제 저항성 검정(1배액)



지역별 약제 저항성 검정(2배액)



※ 약제: AC(Acetamidrid), SPT(Spinetoram), EB(Emamectin benzoate), CF(Chlorfenapyr), CT(Cyantraniliprole), FL(Fluxametamide)

그림 3. 2025년 지역별 약제 저항성 검정 결과



동일 작용기작(네오니코티노이드 계열) 약제 약효 비교한 결과는 그림 4와 같다. 동일 작용기작에 대해 화성지역(본원) 시험포장에서 자연 발생한 꽃노랑총채벌레 대상으로 4가지 시판되는 약제에 대해 약효 검정한 결과, 동일 작용기작인 acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, thiacloprid 4종에 대해 약효 검정 결과, 모두 10% 미만의 낮은 살충 효과를 보였다.

추가 시험으로 acetamiprid 살충 효과가 낮은 것으로 확인하여 화성지역(본원) 시험포장에서 자연 발생한 꽃노랑총채벌레 대상으로 제형별 약효 비교한 결과(그림 5), 성분의 제형에 따라서도 모두 10% 미만의 낮은 살충 효과를 보아 제형에 따라서도 큰 차이가 없음을 확인하였다.

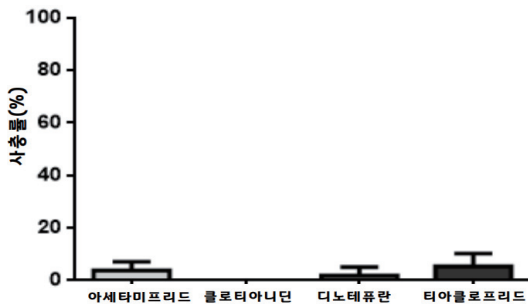


그림 4. 동일 작용기작(4a) 약제 약효 비교

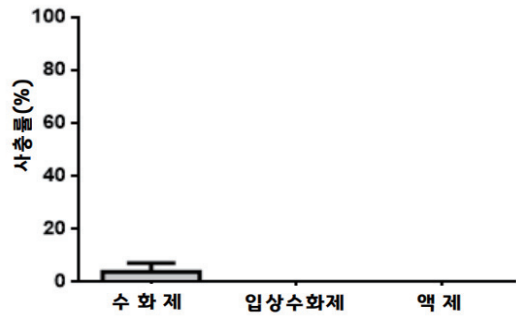


그림 5. 동일 성분의 제형별 약효 비교

## 나. 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 현장진단키트

### 1) 약제 저항성 현장진단키트

2024년 감수성 꽃노랑총채벌레 대상으로 저항성을 검정한 진단농도를 토대로 화성지역(본원) 시험포장에서 자연 발생한 꽃노랑총채벌레를 대상으로 현장진단키트를 사용하여 5가지 약제에 대한 약효 검정을 실시하였다. 약효 검정 결과, 살충 효과가 좋은 약제는 chlorfenapyr, 살충 효과가 낮은 약제는 acetamiprid로 확인되었다(그림 6).

### 2) 약제 저항성 현장진단키트 활용 추천 약제 방제 효과 검정

현장진단키트 결과를 토대로 시판되고 있는 농약으로 추천 농도에서 2025년 6월 27일에 A동 하우스에는 chlorfenapyr, B동 하우스에는 acetamiprid를 살포했다(그림 6). 약제 처리 후 3일 뒤(7월 1일) 밀도 조사 결과, acetamiprid 처리 포장보다 chlorfenapyr 처리 포장에서 발생 밀도가 크게 낮아졌다(그림 7).

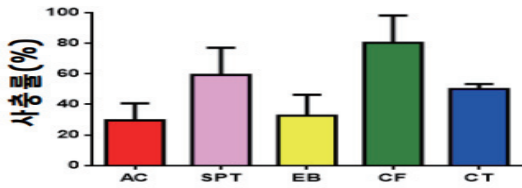
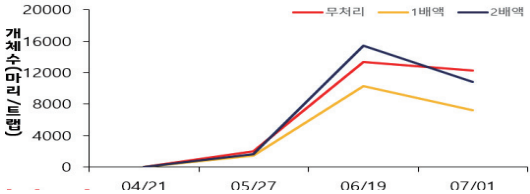
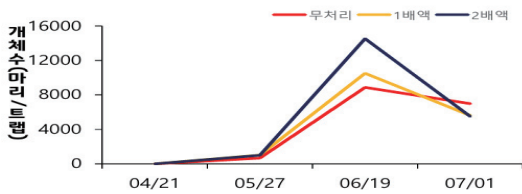


그림 6. 화성지역(본원) 포장 현장진단키트 및 약제 살포



추천 약제(chlorfenapyr)

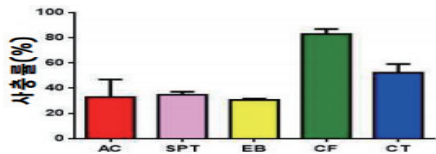
주의 약제(acetamidrid)

그림 7. 현장진단키트 결과 활용 약제 처리 후 방제 효과 검증

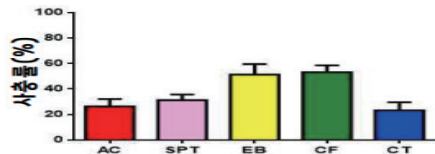
### 다. 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 플랫폼 활용 농가 약제 추천

#### 1) 지역별 현장진단키트 활용 약효 반응

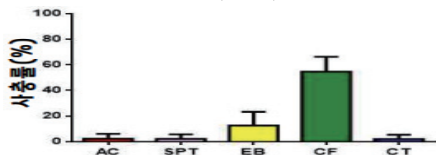
2025년에 화성 등 3지역에서 채집된 꽃노랑총채벌레를 대상으로 5가지 약제에 대해 현장진단키트로 약효 검증 결과, 화성의 상추, 딸기에는 chlorfenapyr, 김포 국화에는 chlorfenapyr, 김포 딸기와 이천 상추, 부추에는 cyantraniliprole이 살충 효과가 높았다(그림 8).



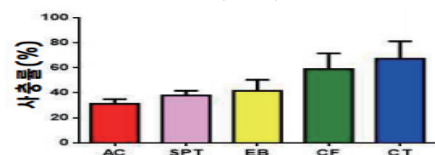
화성(상추)



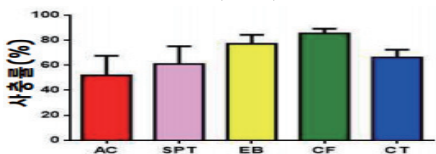
화성(딸기)



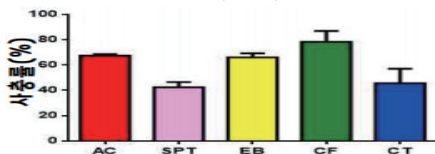
김포(국화)



김포(딸기)



이천(상추)



이천(부추)

그림 8. 지역별 현장진단키트(RCVpW) 약효 비교



## 2) 약제 저항성 플랫폼 약효 정보 제공

꽃노랑총채벌레의 엽침지법에 대한 농가별 약효 반응은 2024년에 여주, 고양, 이천 3지역, 2025년에 화성, 김포, 이천 3지역 6지점에 대한 정보를 약제 저항성 플랫폼 (<https://agriweather.gg.go.kr>)에서 확인할 수 있다. 농가별 현장 지도 시, 효과적인 약제를 추천해 줄 수 있으며, 지역별 약제 저항성에 대한 경향성을 확인할 수 있다(그림9).

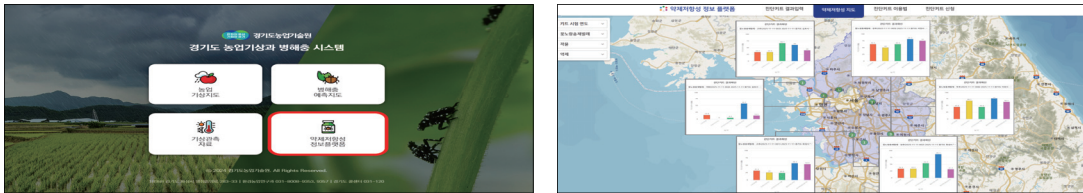


그림 9. 약제 저항성 플랫폼 약효 정보 제공

## 4. 개요

꽃노랑총채벌레의 약제 저항성 모니터링 및 관리체계 구축을 위하여 수행한 시험 결과는 다음과 같다.

- 가. 2024년 여주(부추), 이천(국화), 고양(선인장), 엽침지법에 의한 약제 저항성 검정 결과, 이천과 고양의 화훼류에서는 모든 약제에 대한 살충 효과가 낮았고, 여주(부추)에서는 spinetoram과 chlorfenapyr에 대해 높은 살충 효과를 보였다.
- 나. 2025 화성(상추, 딸기), 김포(딸기, 국화), 이천(상추, 부추) 지역의 엽침지법에 의한 약제 저항성 검정 결과, 화성, 김포 이천 지역에서 acetamiprid 약제에 대해 살충 효과는 낮으며, 김포(국화)와 이천(부추)에서는 spinetoram 약제에서 높은 살충 효과가 나타났다.
- 다. 엽침지법에 의한 약제 저항성 검정 결과, 지역별로 약효 반응에 대한 차이가 나며, 대부분 지역에서 acetamiprid의 약효가 낮은 것으로 나타났다.
- 라. 화성지역(본원) 꽃노랑총채벌레 대상으로 동일 작용기작(MOA) 약제 약효 비교를 진행한 결과, 네오니코티노이드계열 중 약제 4종(아세타미프리트, 클로티아니딘, 디노테푸란, 티아클로프리트)에 대해 약효 차이가 나타나지 않았다.
- 마. 약효 반응이 낮은 4a 계열 아세타미프리트에 대해 화성지역(본원) 꽃노랑총채벌레 대상으로 수화제, 입상수화제, 액제 제형별 약효 검정한 결과, 제형별 약효 차이가 나타나지 않았다.
- 바. 작용기작이 다른 약제 5종(원제)에 대해 화성지역(본원) 꽃노랑총채벌레 대상으로 현장진단키트 바이알법(Residual Contact Vial plus Water)을 진행한 결과, 살충 효과가 높은 약제로는 chlorfenapyr, 살충 효과가 낮은 약제로는 acetamiprid로 확인하였다. 포장에서 방제 효과를 검정한 결과, 살충효과가 높은 chlorfenafyr 처리 하우스에서 꽃노랑총채벌레 발생 밀도가 크게 낮았다.
- 사. 화성 등 6지역 9지점의 화훼류·엽채류 농가에 대해 약제 저항성 정보를 제공 하였으며, 그 결과를 ‘약제 저항성 정보 플랫폼’에 탑재하였다.

## 5. 인용문헌

- 김소희, 이영수, 최중윤, 유주형, 이현주, 장정희, 박중수. 2023. 원예작물 약제 저항성 미소해충 관리기술 개발. 경기도농업기술원 시험연구보고서. 556-579.
- Gao Y, Lei Z, Reitz SR, 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest Manag. Sci.* 68(8), 1111-1121.
- Jeon SW, BY Park, SK Park, SG Lee, HJ Ryu, SB Lee and IH Jeong. 2017. Establishment of discriminating concentration based assessment for insecticide resistance monitoring of palm thrips. *Kor. J. Environ. Biol.* 35, 557-567.
- Jones DR, 2005, Plant viruses transmitted by Thrips, *European Journal of Plant Pathology.* 113(2), 119-157.
- Kwon D. H., K Kim, T-J Kang, S-J Kim, B-R Choi, J. I. Kim., S. H. Lee, 2015, Establishment of an insecticide resistance monitoring protocol based on the residual contact vial bioassay for *Frankliniella occidentalis*. *Korean J. Appl. Entomol.* 18, 311-314.
- Lee YS, HA Lee, HJ Lee, SS Hong, CS Kang, YS Choi and HH Kim. 2017. Insecticide susceptibility of western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on horticultural crops in Gyeonggi area. *Korean J. Appl. Entomol.* 56, 179-186.
- Mautino GC, L Bosco, L Tavella, 2012. Integrated management of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on onion in north-western Italy: basic approaches for supervised control. *Pest Manag. Sci.* 68(2), 185-193.
- Mound LA, Z Wang, EFB Limma, R Marullo, 2022. Problems with the concept of pest among the diversity of pestiferous thrips. *Insect* 13(1), 61.
- PostgreSQL, 2023. <https://www.postgresql.org/> (Accessed Oct. 10. 2023)
- Reitz SR, YL Gao, WDJ Kirk, MS Hoddle, KA Leiss, et al., 2020. Invasion biology, ecology and management of western flower thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 65, 17-37.
- Spring framework, 2020. <https://projects.spring.io/springframework/> (Accessed Oct. 10. 2023)
- Whitfield AE, DE Ullman, TL German, 2005. Tospovirus thrips interactions. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43:459-489.
- Woo KS. 1972. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 11, 45-54.

## 6. 연구결과 활용제목

- 경기지역 꽃노랑총채벌레 살충제 약효반응 정보(영농활용, 2025년)
- 꽃노랑총채벌레 약제 저항성 정보 플랫폼 활용법(영농활용, 2024년)

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						24	25
꽃노랑총채벌레 약제 저항성 모니터링 및 관리체계 구축	책임자	환경농업연구과	농업연구사	박소현	세부과제 총괄	-	○
	공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	윤승환	저항성 조사	-	○
	〃	〃	〃	최종윤	해충 조사	○	○
	〃	〃	〃	유주형	저항성 조사	○	○
	〃	선인장다육식물연구소	〃	김소희	저항성 시험	○	-
	〃	환경농업연구과	농업연구관	이현주	데이터 평가	○	○
〃	〃	〃	박중수	연구자문	○	○	