



## ORIGINAL ARTICLES

## 영남지역 토마토 시설재배지에 발생한 꽃노랑총채벌레에 대한 살충제 5종의 약제 반응

이호욱<sup>1</sup> · 최재혁<sup>1,2</sup> · 이종원<sup>1,2</sup> · 김이슬<sup>3</sup> · 유황빈<sup>1</sup> · 김민재<sup>1</sup> · 장 철<sup>3</sup> · 이동운<sup>1,3\*</sup><sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>(주) 누보 중앙연구소, <sup>3</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소Response of 5 Insecticides to *Frankliniella occidentalis* Occurring on Tomato Cultivation at the Greenhouse in Gyeongsang AreaHo-wook Lee<sup>1</sup>, Jae-hyeok Choi<sup>1,2</sup>, Jong-won Lee<sup>1,2</sup>, Yi-seul Kim<sup>2</sup>, Hwang-bin Yu<sup>1</sup>,  
Min-jae Kim<sup>1</sup>, Cheol Jang<sup>2</sup> and Dong-Woon Lee<sup>1,3\*</sup><sup>1</sup>Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea<sup>2</sup>R&D Center, Nousbo Co., Ltd. Suwon 16619, Republic of Korea<sup>3</sup>Research Institute of Invertebrate Vector, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea

(Received on November 16, 2023. Revised on December 6, 2023. Accepted on December 6, 2023)

**Abstract** Tomato, a fruit vegetable of great international importance, suffer damage from Western flower thrip (*Frankliniella occidentalis*), and their vectored viral pathogens that cause devastating viral diseases such as tomato spotted wilt disease. Farmers utilize various pesticides to control *F. occidentalis*. However, abuse of insecticide leads to development of resistance in the targeted *F. occidentalis* populations. In this situation, insecticide resistance evaluation data for suggesting efficient *F. occidentalis* control regimes is a critical necessity. Therefore, this study evaluated five types of insecticides (Acrinathrin 5.7% SC, Dinotefuran 20% WG, Emamectin benzoate 2.15% ME, Chlorfenapyr 5% EC and Fluxametamide 9% EC) for insecticide resistance in *F. occidentalis* strains collected from tomato greenhouses located in Chang-won, Gim-hae and Po-hang. The insecticidal effects varied depending on the insecticide, and there were also significant differences between collected regions. Acrinathrin showed a high resistance ratio and high control efficacy index (CEI) in all three regions. Fluxamethamide showed a low resistance ratio in all three regions, but showed a relatively high CEI in the Pohang region. Emamectin benzoate also showed low resistance ratio and CEI in populations in Gim-hae and Pohang regions. It is judged that it is necessary to manage farm use of insecticides with high resistance ratios or high CEI in each region.

**Key words** Acrinathrin, efficacy, emamectin benzoate, fluxametamide, insecticide resistance

## 서 론

토마토는 생식 및 가공의 목적으로 재배되는 과채류이며 감자 다음으로 국제적 중요도가 높다(Quinet et al., 2019). 2020년 기준, 전 세계 토마토 재배면적은 약 5백만 ha, 생산량은 약 1억 8천만톤으로 국제 총 과채류 생산량의 16%를 차지하고 있다(FAOSTAT, 2023). 2021년 국내 토마토 재배면적은 약 6천 ha이고 생산량은 약 37만 톤인데 2010년도

부터 각각의 수치들에 등·하의 변동을 보였지만 매년 꾸준하게 재배 및 생산되고 있다(KOSIS, 2023).

국내 토마토 시설 재배지에서 발생하는 주요 해충으로 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum*), 담배가루이(*Bemisia tabaci*), 아메리카잎굴파리(*Liriomyza trifolii*), 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.), 담배거세미나방(*Spodoptera litura*) 등이 있다. 그 중에서 꽃노랑총채벌레는 방제가 필수인 중요 해충으로 각별한 주의가 요구된다(RDA, 2020). 꽃노랑총채벌레는 식물체의 체표조직을 갉아내고, 그 부위를 흡즙하는 형태의 구기를 가지

\*Corresponding author  
E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

고 있으며 피해를 받은 잎은 기형이 되고 과실의 경우 표면이 코르크화 된다. 그러나 이런 직접적인 피해 외에 TSWV (Tomato spotted wilt virus), INSV (Impatiens necrotic spot virus), MCMV (Maize Chlorotic Mottle Virus) 등의 바이러스를 매개하여 식물체에 2차 피해를 입힌다(Jones, 2005; Whitfield et al., 2005; Gupta et al., 2018).

미국 서부지역에서 최초로 발생한 꽃노랑총채벌레는 원예작물의 국제교역이 활발해지면서 중국, 호주, 유럽 등 전세계로 확산되었다(Kirk and Terry, 2003; Grant and Tanya, 2005; Demirozer et al., 2012; Minakuchi et al., 2013; Li et al., 2016). 우리나라에서는 1993년 제주도 감귤 하우스에서 처음 발생하였으며 토마토, 고추, 수박, 마늘, 딸기 등 다양한 원예작물은 물론, 국화와 같은 화훼작물에도 피해를 주고 있다(Woo et al., 1994; Park et al., 2007; Lee et al., 2017; Kim et al., 2018). Park et al. (2007) 등은 토마토 재배지를 비롯한 원예농가의 경우 꽃노랑총채벌레의 경제적 요망제 수준이 매우 낮아 낮은 밀도에서의 방제 필요성을 지적하였다. 꽃노랑총채벌레의 방제를 위하여 천적활용과 같은 생물학적 방제나(Pozzebon et al., 2015) 끈끈이 트랩과 같은 물리적 방제(Brødsgaard, 1989), 혹은 저항성 품종 재배나 윤작과 같은 재배기술의 도입을 활용할 수 있으나(Demirozer et al., 2012) 꽃노랑총채벌레의 작은 체구와 높은 번식력, 광범위한 분포 범위, 다양한 기주식물 등의 생태학적 특징 때문에 화학적 살충제를 활용하는 것이 주요 관리 수단으로 여겨지고 있다(Gao et al., 2012; Reitz et al., 2020). 그러나 살충제의 과도한 의존은 꽃노랑총채벌레의 살충제 저항성 발현이라는 부작용 발생을 초래하고 있다. 약제 처리 후 생존한 일부 꽃노랑총채벌레 개체로부터 저항성 인자가 유발되고, 짧은 세대기간과 높은 번식율로 인하여 더 많은 저항성 개체가 발생하게 된다. 또한, 동일한 약제를 지속적으로 사용하는 것은 저항성을 더 가속화하기 때문에 방제효율이 떨어져 작물 생산에 악영향을 끼친다(Gao et al., 2014; Zhang et al., 2022).

1960년대 멕시코 목화 재배지에서 꽃노랑총채벌레에 대한 첫 살충제 저항성 발현이 보고된 것을 시작으로 고추, 토마토, 블랙베리, 장미 등과 같은 다양한 작물에서 발생한 꽃노랑총채벌레에 대하여 살충제 저항성 취득이 전 세계적으로 보고되고 있다(Gao et al., 2012). Gao et al. (2012)은 피레스로이드계 아크리나트린의 경우 꽃노랑총채벌레에 대하여 스페인에서 43배, 오스트레일리아에서 78배의 약제 저항성을 보고하였으며 Minakuchi et al. (2013)의 연구에서는 네오니코티노이드계통의 아세타미프리트 약제의 저항성과 작용기작의 대상인자 돌연변이를 보고하였다. 그 밖에도 유기인계(아세페이트, 클로르피리포스, 다이아지논, 디클로르보스 등), 카바메이트계(벤디옥카브, 메티옥카브, 메토밀 등), 스피노신계(스피네토람, 스피노사드), 아버멕틴계(아버멕틴

및 에마멕틴벤조에이트) 등의 다양한 살충제에 대한 저항성 발현이 보고되고 있다(Sanches and Wise, 2020).

우리나라에서도 다양한 작물과 지역에서 채집된 꽃노랑총채벌레를 대상으로 국내에서 등록되어 시판중인 아버멕틴계, 디아미이드계, 네오니코티노이드계, 나리아신계, 스피노신계 등의 다양한 약제에 대한 저항성 발현 여부를 검정하여 보고한 사례들이 있다(Yu et al., 2002; Lee et al., 2017; Cho et al., 2018; Yoon et al., 2020; Choi et al., 2023).

이러한 꽃노랑총채벌레의 살충제 저항성 발달 상황에서 가장 중요한 것은 주요 작물에 발생한 꽃노랑총채벌레의 살충제 저항성 발생 정도를 지속적으로 조사하여 꽃노랑총채벌레 관리에 적합한 약제를 선택하고 저항성 발생 가능성을 제한 및 지연시키는 정보를 제공하는 것이다(Kilot and Ghanim, 2012). 따라서 본 연구는 전국 토마토 재배 농가에서 꽃노랑총채벌레에 대한 저항성 취득 정도를 파악하여 농업 현장에서 꽃노랑총채벌레를 관리하는데 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 꽃노랑총채벌레의 채집 및 사육

꽃노랑총채벌레의 채집은 영남권 토마토 주산지인 창원, 김해, 포항의 토마토 시설재배지를 방문하여 발생이 확인된 농가 포장에서 수행하였다. 각 지역 토마토 재배지에서 토마토의 잎과 꽃을 대상으로 타락법을 이용해 채집하였으며 채집된 총채벌레는 실험실로 가져와 육안관찰 및 해부현미경(SM2 1000, Nikon, Tochigi-ken, Japan)하에서 종분류를 실시하여 대만총채벌레와 분리하였다(Kim, 2016; Kim et al., 2022). 꽃노랑총채벌레의 사육은 100 × 40 mm 크기의 Insect breeding dish (Model No. 310102, SPL, Korea)의 바닥에 1~2 ml의 증류수로 적신 filter paper (Model No. 2, ADVANTEC, Japan) 2장을 깔고 그 위에 parafilm (PM-996, Amkor, USA)을 50 × 50 mm의 정사각형으로 잘라 빈틈없이 부착한 것을 활용하였다. Parafilm 위에 파종 4~5일 된 강낭콩 떡잎을 먹이 및 산란원으로 공급하였으며, 매일 공급된 강낭콩 떡잎을 새 떡잎으로 교환하였다. 온도 25 ± 2°C, 습도 50-60%, 일장 16L:8D 조건의 사육실에서 누대사육하였다.

### 시험약제 선발

본 연구에 사용한 살충제는 토마토에 등록되어 사용되고 있는 총채벌레류 방제용 살충제 7종들 중 계통별로 Pyrethroids계 1종(acrinathrin), Pyrroles계 1종(chlorfenapyr), Neonicotinoids계 1종(dinotefuran), Avermectins계 1종(emamectin benzoate), Isoxazolines계 1종(fluxametamide)을 포함한 단제 5종(KCPA, 2022)을 선발하여 사용하였으며, 각 살충제

**Table 1.** Insecticides used in this study

Insecticide	A.I. <sup>a)</sup> (%)	Formulation <sup>b)</sup>	Recommended concentration (ppm)	Chemical class	IRAC mode of action classification
Acrinathrin	5.7	SC	28.5	Pyrethroids	3a
Chlorfenapyr	5	EC	50	Pyrroles	13
Dinotefuran	20	WG	100	Neonicotinoids	4a
Emamectin benzoate	2.15	ME	10.75	Avermectins	6
Fluxametamide	9	EC	45	Isoxazolines	30

<sup>a)</sup> A.I; Active ingredient.

<sup>b)</sup> SC; Suspension concentrate, WG; Water dispersible granule, ME; Micro emulsion, EC; Emulsifiable concentrate.

에 대한 일반명, 유효성분, 제형, 추천농도(ppm) 및 계통 등의 정보는 Table 1과 같다.

### 시험약제에 대한 생물활성 검정

꽃노랑총채벌레의 생물활성검정법은 IRAC검정법을 기초로 하여 연구실에 맞게 변형하여 수행하였다. 지역별 꽃노랑총채벌레 채집 개체군들에 대한 시험약제의 활성실험은 엽침지법(leaf-dipping methods)을 이용하였다. 각각의 살충제 별 제조사의 추천농도와 추천농도의 2배 그리고 1/2배 농도로 희석하여 생물검정을 수행하였으며, 대조군의 경우 1차 증류수를 사용하였다. Insect breeding dish에 filter paper 5장을 깔고, 증류수를 충분히 적신 후 5 × 5 cm 정사각형 parafilm을 filter paper 위에 깔았다. 엽장 5 cm 내외의 건강한 토마토 신초를 각 농도별 살충제에 30초간 침지 후 30분 동안 Fume Hood (SAMIN SCIENCE, Korea)내에서 음건하였다. 각각의 Insect breeding dish 내 parafilm 위에 음건된 토마토 잎을 놓은 후 꽃노랑총채벌레 암컷 성충을 10 마리씩 붓으로 접종하였다. 접종 후 온도 25 ± 1°C, 습도 50-60%, 일장 16L:8D 조건의 생장상(HB-303DH-0, Hanbaek scientific Co.)에서 72시간 보관하였다. 붓으로 건드렸을 때 몸길이만큼 움직이지 않는 개체는 치사한 것으로 간주하여 사충수를 조사하였고, 모든 시험은 3반복으로 수행되었다. 생충률(%)은 (처리구 생충수 / 처리구 총마리수) × 100으로 계산하였고, 보정사충률은 {(무처리구생충율-처리구 생충율) / 무처리구 생충율} × 100로 계산하여 살충제간 치사율 차이를 비교하였다.

### 꽃노랑총채벌레의 약제 저항성 검정

저항성 검정은 약제 살충활성검정의 결과를 바탕으로 꽃노랑총채벌레의 치사율이 0~15% (1단계) 부터 85~100% (7단계)까지 나타나는 구간의 공비를 계산하여 총 7단계의 농도 구간을 설정하여 희석하였다. 희석농도 단계 설정 후 나머지 실험방법은 살충활성 검정과 동일한 방법으로 수행하였다. 토마토 잎을 각각의 희석액에 30초 침지 후 30분간 Fume Hood (SAMIN SCIENCE, Korea)에서 음건 시킨 후 공급하였다. 각 처리별 꽃노랑총채벌레 암컷 성충을 10 마

리씩 접종하고, 온도 25 ± 1°C, 습도 50-60%, 일장 16L:8D 조건의 생장상(HB-303DH-0, Hanbaek scientific Co.)에 보관하였다. 접종 72시간 후 사충수를 조사하였는데, 붓으로 건드렸을 때 몸길이만큼 움직이지 않는 개체는 치사한 것으로 간주하였다. 모든 시험은 3반복이상으로 수행되었으며 무처리구의 사충율이 10%를 초과하는 경우 재실험을 실시하였다.

### 통계처리 및 저항성 비교

약제별 살충효과와 지역별 약제의 저항성 비교를 위한 통계분석은 SAS program을 이용하였는데 약제 별 처리평균간의 유의차를 분석하기 위해 보정사충율을 arcsin으로 치환하여 Tukey test (PROC ANOVA, SAS 9.4 user's guide, 2011)로 검정하였다. 지역별 약제의 저항성은 Probit 분석 (PROC PROBIT, SAS 9.4 user's guide, 2011)을 이용하여 치사농도 구간 값을 구하였다. 또한 LC<sub>50</sub>값을 권장농도로 나누어 방제효과지수(Control efficacy index, CEI)로 표시하여, 그 수치를 비교해 지역간 상대적 저항성 정도 비교에 사용하였다.

## 결 과

### 약제별 토마토 꽃노랑총채벌레에 대한 살충활성

영남권역 토마토 시설재배지에서 발생한 꽃노랑총채벌레의 살충활성 검정 결과, 아크리나트린의 경우 포항지역 개체군이 모든 농도구간에서 0%의 보정사충율을 보였다. 나머지 두 지역 개체군에서도 다른 실험 약제들에 비하여 낮은 치사율을 보였다(df=2, 6, F=5.70, p=0.0410, Table 2). 클로르페나피르 처리의 경우 김해 개체군에서는 50%대의 살충율을 보였고, 나머지 지역 개체군들에서는 낮은 살충율을 보였다(df=2, 6, F=30.88, p=0.0007, Table 2). 디노테푸란은 추천농도에서 살충효과는 김해 지역 개체군에서 53.3%의 보정사충율을 보였으나 창원과 포항지역 개체군들에서는 낮은 치사율을 보였다(df=2, 6, F=30.88, p=0.0007, Table 2). 에마멕틴벤조에이트는 추천농도 처리 시 약 58%에서 80%까지 다양한 살충율을 보였으나 지역간 통계적 차

**Table 2.** Mortality of field strains of *Frankliniella occidentalis* after treatment with insecticides

Insecticide	Strain	% Mortality (mean $\pm$ SD)		
		1/2 $\times$ RC <sup>a)</sup>	RC	2 $\times$ RC
Acrinathrin	Changwon	6.8 $\pm$ 2.9a <sup>b)</sup>	15.3 $\pm$ 5.9a	16.9 $\pm$ 2.9b
	Gimhae	13.3 $\pm$ 5.8a	10.0 $\pm$ 10.0ab	40.0 $\pm$ 10.0a
	Pohang	0.0 $\pm$ 0.0b	0.0 $\pm$ 0.0b	0.0 $\pm$ 0.0c
Chlorfenapyr	Changwon	1.1 $\pm$ 2.0b	5.6 $\pm$ 4.9b	10.2 $\pm$ 2.9b
	Gimhae	23.3 $\pm$ 11.5a	53.3 $\pm$ 15.3a	76.7 $\pm$ 15.3a
	Pohang	3.3 $\pm$ 5.8b	0.0 $\pm$ 0.0b	3.3 $\pm$ 5.8b
Dinotefuran	Changwon	47.5 $\pm$ 5.9b	57.6 $\pm$ 5.9a	61.0 $\pm$ 5.9a
	Gimhae	72.6 $\pm$ 11.0a	80.0 $\pm$ 10.0a	82.6 $\pm$ 15.6a
	Pohang	33.3 $\pm$ 5.8b	66.7 $\pm$ 11.5a	90.0 $\pm$ 10.0a
Emamectin benzoate	Changwon	6.7 $\pm$ 2.9c	13.3 $\pm$ 2.9c	11.7 $\pm$ 2.9c
	Gimhae	96.7 $\pm$ 5.8a	96.7 $\pm$ 5.8a	100.0 $\pm$ 0.0a
	Pohang	41.1 $\pm$ 8.4b	55.2 $\pm$ 5b	73.3 $\pm$ 11.5b
Fluxametamide	Changwon	11.7 $\pm$ 2.9b	23.3 $\pm$ 5.8b	26.7 $\pm$ 12.6b
	Gimhae	100.0 $\pm$ 0.0a	96.7 $\pm$ 5.8a	93.3 $\pm$ 11.5a
	Pohang	6.7 $\pm$ 5.8b	26.7 $\pm$ 5.8b	40.0 $\pm$ 26.5b

<sup>a)</sup> RC: represents recommended concentration.

<sup>b)</sup> Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).

이는 없었다(df=2, 6,  $F=4.02$ ,  $p=0.078$ , Table 2). 플록사메 타마이드 권장농도 처리는 김해지역의 경우 약 97%로 높은 수치를 보이는 반면, 창원과 포항에서 20%대의 낮은 살충율을 보여 지역 개체군간 통계적 차이를 보였다(df=2, 6,  $F=61.29$ ,  $p=0.0008$ , Table 2).

#### 꽃노랑총채벌레에 대한 약제 저항성 평가

피레스로이드 계통인 아크리나트린의 저항성 평가 결과, 모든 지역의 꽃노랑총채벌레에게서 높은 수준의 저항성을

보였다(Table 3). 창원과 포항 개체군의 경우  $LC_{90}$  값이 100,000 ppm이 넘었는데 이를 추천 농도량으로 나눈 CEI 값은 3,800을 초과하여 높은 수준의 저항성 개체군으로 판단되었고, 김해 개체군도 감수성 개체군 대비 CEI값이 28배 이상으로 저항성 수준이 높게 나타났다(Table 3).

클로르페나피르의 경우 김해지역 개체군에서는 저항성이 발현되지 않았지만 창원과 포항 개체군들은 CEI값이 각각 10.03배, 5.25배로 저항성이 나타나고 있었다(Table 3). 특히 창원 개체군의  $RR_{50}$ 값은 1672.23로 전체 시험 약제들 중 가

**Table 3.** Resistance of field strains of *Frankliniella occidentalis* after treatment with insecticides

Insecticide	Strain	Slope ( $\pm$ SE)	$LC_{50}$ (ppm) (95%FL)	$LC_{90}$ (ppm) (95%FL)	$RR_{50}$ <sup>b)</sup>	CEI <sup>c)</sup>
Acrinathrin	Changwon	0.7 ( $\pm$ 0.1)	1616.0 (956.1-2699.0)	112467.0 (41920.0-573811.0)	8.6	3946.2
	Gimhae	1.7 ( $\pm$ 0.2)	5319.0 (3998.0-7256.0)	31170.0 (19654.0-62904.0)	28.3	1093.7
	Pohang	1.2 ( $\pm$ 0.2)	9478.0 (6507.0-15518.0)	110696.0 (51187.0-427911.0)	50.4	3884.1
	LAB <sup>a)</sup>	1.7 ( $\pm$ 0.2)	188.2 (141.7-251.2)	1099.0 (718.2-2072.0)	-	38.6
Chlorfenapyr	Changwon	1.9 ( $\pm$ 0.2)	2535.0 (2077.0-3095.0)	12318.0 (8831.0-20066.0)	1672.2	246.4
	Gimhae	1.2 ( $\pm$ 0.1)	1.0 (0.7-1.5)	11.1 (6.1-27.1)	0.7	0.2
	Pohang	1.1 ( $\pm$ 0.1)	19.6 (13.1-29.3)	262.3 (139.8-695.1)	12.9	5.3
	LAB	1.5 ( $\pm$ 0.2)	1.5 (1-2.1)	11.4 (7.4-22.3)	-	0.2

Table 3. continued

Insecticide	Strain	Slope (±SE)	LC <sub>50</sub> (ppm) (95%FL)	LC <sub>90</sub> (ppm) (95%FL)	RR <sub>50</sub> <sup>b)</sup>	CEI <sup>c)</sup>
Dinotefuran	Changwon	1.5 (±0.1)	6533.0 (5048.0-8514.0)	45805.0 (30527.0-80475.0)	77.5	458.1
	Gimhae	3.1 (±0.4)	169.8 (142.3-198.6)	436.9 (354.4-594.5)	2.0	4.4
	Pohang	1.3 (±0.2)	42064.0 (28772.0-71263.0)	424427 (196314.0-1642089.0)	499.0	4244.3
	LAB	1.8 (±0.3)	84.3 (65.1-108.1)	435.4 (282.9-934.5)	-	4.4
Emamectin benzoate	Changwon	1.1 (±0.1)	15.0 (10.9-21.3)	198.1 (108.5-488.7)	16.6	18.4
	Gimhae	1.2 (±0.1)	3.8 (2.5-5.9)	48.3 (25.4-126.6)	4.2	4.5
	Pohang	2.1 (±0.2)	6.4 (5.0-8.5)	26.6 (18.1-47.0)	7.1	2.5
	LAB	1.8 (±0.2)	0.9 (0.7-1.2)	4.9 (3.3-8.5)	-	0.5
Fluxametamide	Changwon	1.9 (±0.2)	34.0 (26.7-42.8)	163.8 (120.5-248.2)	1.8	3.6
	Gimhae	0.9 (±0.1)	0.3 (0.2-0.5)	8.0 (4.0-23.2)	0.0	0.2
	Pohang	0.6 (±0.1)	34.4 (17.3-72.1)	4024.0 (1041.0-49407.0)	1.8	89.4
	LAB	2.4 (±0.3)	19.1 (15.6-23.4)	67.3 (50.2-104)	-	1.5

a) Laboratory strain (LAB) data is quoted from Choi et al.(2023)'s paper.

b) Resistance ratio, RR = LC<sub>50</sub> value of field strain / LC<sub>50</sub> value of laboratory strain.

c) Control efficacy index, CEI = LC<sub>90</sub> value / Recommended concentration.

장 높은 수치를 보여 높은 수준의 저항성이 발현되고 있었다.

디노테퓨란 처리의 경우 김해 개체군에서 약제 저항성이 낮은 수준으로 발현되었으나 포항과 창원 개체군에서는 CEI값이 각각 4244.27과 458.05로 높았고, RR<sub>50</sub>값 또한 창원과 포항 개체군이 타 약제에 비해 전반적으로 높은 수치를 보여 높은 저항성 발현 양상을 보였다(Table 3).

에마멕틴벤조에이트에 대한 저항성 검정 결과 모든 지역의 꽃노랑총채벌레에서 비교적 낮은 수준의 저항성이 발현되었다 (Table 3).

플룩사메타마이드 약제저항성은 김해 지역 개체군에서는 발현되지 않아 감수성이었으나 포항과 창원지역 개체군에서는 저항성이 발현되었다(Table 3).

## 고 찰

꽃노랑총채벌레는 요방제 수준 밀도가 낮아 반복적인 화학적 방제가 이루어지고 있고, 이로 인해 약제저항성 발현 가능성이 상대적으로 높은 해충이다. 이러한 저항성 발현 개체군들에 대한 적절한 관리방안의 도출은 작물보호에서

기본적으로 중요한 사안으로 인식되고 있는데 방한 마련을 위한 첫 번째 단계로서 작물 재배현장에서의 저항성 취득 정도를 파악하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 국내 토마토 재배지에서 사용되고 있는 작물보호제들 중에서 작용기작이 다른 단계(아크리나트린, 디노테퓨란, 에마멕틴벤조에이트, 클로르페나피르, 플룩사메타마이드)들을 대상으로 영남지역 3개 시의 시설토마토 재배지에서 채집된 꽃노랑총채벌레를 대상으로 약제에 대한 반응을 평가하였다.

꽃노랑총채벌레 지역 개체군들의 동일 약제에 대한 살충력은 약제별에 따라 차이를 보였는데 이는 해당 포장에서 실시한 방제 이력의 차이에 따른 것으로 생각된다(Wang et al., 2016). 그러나 본 연구에서는 개별 농가의 방제 이력에 대해서는 검토하지 못하여 실제 사용 약제나 사용량에 따른 저항성 출현에 직접적인 인과관계는 확인할 수 없었지만 추후 이들 지역에서 저항성 발현과 약제 사용 형태에 대한 역학 조사가 필요할 것으로 생각된다. 클로르페나피르의 경우 창원 지역 개체군에서는 높은 저항성을 보이는 반면 김해지역에서는 저항성이 전혀 나타나지 않아 감수성이었고, 포항 지역에서는 낮은 저항성 발현 양상을 보여 동일 약제에 대

해 큰 차이를 보이는 김해나 창원과 같은 곳은 약제 사용 이력에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 2001년 장미 재배지에서 채집된 꽃노랑총채벌레에 대한 클로르페나피르 저항성 검정에서는 김해지역 개체군에서 1428.6배 이상의 높은 저항성비를 보였으나(Yu et al., 2002) 본 연구에서는 김해 지역 개체군의 경우 저항성비가 낮게 나타났는데 이는 재배 작물의 차이에 의한 방제이력 차이와 개별 농가의 약제 처리 방법의 차이에 기인된 결과로 생각된다. 한편 2015~2016년 경기도 지역의 원예작물에서 채집된 꽃노랑총채벌레의 경우 동일한 화성지역 개체군 사이에도 기주 작물의 종류별에 따라 다른 약제 반응을 보여 국화에서는 50%대의 살충율을 보인 반면 오이나 장미에서 채집된 개체군은 96.7%의 치사율을 보였다(Lee et al., 2017). 또한 2018년 화성과 진천의 국화 재배지에서 채집된 꽃노랑총채벌레의 경우 클로르페나피르에 대해 추천농도에서 83.8%와 81.8%의 치사율을 보여 구미, 청주, 천안, 부여 채집 개체군의 100%와 차이가 있었다(Cho et al., 2018).

비교적 최근 등록되어 사용되고 있는 플룩사메타마이드의 경우 저항성비는 세 지역 모두 비교적 낮게 나타나 이들 지역에서 꽃노랑총채벌레 방제에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단되지만 포항 개체군의 경우 CEI값이 89.42로 높게 나타나 실제적인 효과에 감소가 나타나고 있는 것으로 판단되어 향후 포항 지역에서는 본 약제 사용에 특별한 관리가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 기존에 고추의 꽃노랑총채벌레 지역 개체군에 대한 약제반응 시 감수성 계통으로 활용한 실험실 개체군에 대한 약제 반응 결과(Choi et al., 2023)를 이용하여 저항성비를 도출하였는데 클로르페나피르나 플룩사메타마이드에 대한 약제 반응은 실험실 계통이 야외 계통에 비해 LC<sub>50</sub>값이 다소 높게 나타났다. 감수성 개체군으로 실험실에서 유지하던 개체군들이 야외 채집 개체군에 비해 감수성이 상대적으로 낮은 것에 대해서는 원 감수성 개체군의 속성이거나 사육 중 타 개체군의 혼입 등 여러 요인들이 고려될 수 있는데 타 개체군 혼입의 경우 유전자 분석을 통해 추가적인 확인이 필요할 것으로 생각된다. 약제 반응의 비교군으로 사용하는 감수성 계통이나 실험실 계통의 약제 반응의 근원적 차이가 존재할 경우 이 계통의 LC<sub>50</sub>값을 기반으로 산출되는 저항성비에 영향을 끼친다. 따라서 저항성의 변동에 대한 정보 취득 시 감수성 개체군의 약제반응을 추가적으로 검토 할 필요가 있을 것으로 생각되며 감수성 계통이 없거나 불완전할 경우 제조사의 추천농도에 기반한 방제효과 지수를 적용하는 것이 실효성이 있을 것으로 판단된다. 피레스로이드 계통인 아크리나트린의 경우 모든 지역의 꽃노랑총채벌레에게서 높은 수준의 저항성이 발현된 것을 확인할 수 있었는데 아크리나트린은 전 세계적으로도 이미 높은 약제 저항성 발현이 보고되고 있다(Gao et al., 2012). 또

한, 네오니코티노이드 계통인 디노테푸란은 창원과 포항지역 개체군에서 높은 수준의 저항성이 나타났는데 2014년 김해의 장미재배지에서 채집하여 실내에서 4년간 사육한 꽃노랑총채벌레의 경우 추천 농도에서 6.5%의 낮은 치사율을 보였다(Cho et al., 2018). 피레스로이드계와 네오니코티노이드계 약제 저항성 발현 기작은 Cytochrome P-450과 mono-oxygenase가 주로 관여하는 것으로 알려져 있다(Espinosa et al., 2005; Demirozer et al., 2012). 한번 획득한 저항성 기작은 오랜 기간 동안 동일약제의 노출이력이 없어도 유지되는 특성을 고려하였을 때(Demirozer et al., 2012; Lee et al., 2017) 동일 계통의 두 약제의 경우 교차저항성 발현을 배제할 수 없기 때문에 두 약제의 반복 사용에 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한, Bielza et al. (2007)에 의하면 아크리나트린에 저항성을 획득한 꽃노랑총채벌레 개체들은 감수성 개체들 보다 발육과 수명이 증가했으며 번식력 또한 높은 것으로 나타났는데 이러한 상황을 고려하였을 때, 디노테푸란에 대한 저항성 발현이 낮은 김해 지역에서는 이미 아크리나트린에 대한 저항성이 취득되어 있기 때문에 디노테푸란의 활용에 신중을 기해야 할 것으로 사료된다.

에마멕틴벤조에이트의 살충효과는 타 약제에 비해 비교적 높았으나 저항성 평가에선 모든 지역에서 낮은 수준이나마 저항성이 발현되고 있었다. 최근 Gao et al. (2022)의 연구에 따르면 꽃노랑총채벌레의 외피 내에 glutamate-gated chloride channel의 과발현이 에마멕틴벤조에이트의 저항성 발달에 주된 관여를 하는 것으로 보고하였으며, 경기도 화성에서 발생한 에마멕틴벤조에이트 저항성 꽃노랑총채벌레 개체가 감수성 개체보다 360배 높은 저항성이 발달하였다고 언급하였다. 따라서 아버멕틴계의 약제는 토마토 포장 내에서 발생한 꽃노랑총채벌레의 밀도를 줄이기 위한 방제력 조성에 필요할 것으로 사료되지만 지속적인 활용은 더 높은 저항성을 유발시킬 수 있으므로 사용에 주의가 필요할 것으로 보인다.

꽃노랑총채벌레의 효율적인 방제를 위한 연구는 다양한 방향으로 시행되고 있다. 따라서 새로운 작용기작의 약제나 대체 방제 방법의 활용을 통해서 효과적인 꽃노랑총채벌레 방제 방법 연구가 지속적으로 필요한 것으로 생각되나 현재 등록되어 판매되고 있는 약제들의 저항성 취득 정도를 파악하고, 그에 따른 지역이나 작물별로 적절한 약제 선택이 가장 중요한 것으로 판단된다. 따라서 꽃노랑총채벌레의 살충제 저항성 발달수준을 지속적으로 모니터링하고 그 정보를 바탕으로 꽃노랑총채벌레 방제 관리에 효과적인 약제선택을 할 수 있는 객관적 정보를 작물보호제의 최종 사용자인 농가에게 정확히 전달될 수 있는 방안의 모색과 저항성 정보를 기반한 약제 추천이나 처방이 이루어질 수 있도록 관리하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청의 소면적작물 농약직권등록 중 농자재관리 및 평가사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2022-RD010420). 꽃노랑총채벌레 야외 개체군 채집에 도움을 주신 토마토 재배 농가에 감사를 드립니다. 이 논문은 제 1저자의 석사학위 논문을 기반으로 작성되었습니다.

## Author Information and Contributions

Ho-wook Lee (ORCID <https://orcid.org/0009-0008-6445-9132>), Jae-hyeok Choi, Jong-won Lee, Hwang-bin Yu: Kyungpook National University, Master

Min-jae Kim: Kyungpook National University, Master student

Yi-seul Kim, Cheol Jang: Kyungpook National University, Doctor

DongWoon Lee, Kyungpook National University, Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9751-5390>.

Research design; Lee DW, Jang C, Investigation; Lee HW, Choi JH, Lee JW, Kim YS, Yu HB, Kim MJ, Data analysis; Lee DW, Lee HW, Writing – original draft preparation; Lee DW, Lee HW, Writing – review & editing; Lee DW, Lee HW, Choi JH, Lee JW, Kim YS, Yu HB, Kim MJ, Jang C.

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literate Cites

Bielza P, 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.* 64(11):1131-1138.

Bielza P, Quinto V, Contreras J, Torne M, Martin A, et al., 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.* 63(7):682-687.

Brødsgaard HF, 1989. Coloured sticky traps for *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera, Thripidae) in glass-houses. *J. App. Entomo.* 107(1-5):136-140.

Choi JH, Lee HW, Lee JW, Kim YS, Yu HB, et al., 2023. Evaluation of insecticide activities the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripad), collected from greenhouse pepper cultivation areas in Gyeong-

sangbuk-do. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(3):232-241.

Cho SW, Kyung Y, Cho SR, Shin S, Jeong DH, et al., 2018. Evaluation of susceptibility of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) and garden thrips (*F. intonsa*) to 51 insecticides. *Korean J. App. Entomo.* 57(3):221-231. (In Korean)

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(12):1537-1545.

Espinosa PJ, Contreras J, Quinto V, Grávalos C, Fernández E, et al., 2005. Metabolic mechanisms of insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest. Manag. Sci.* 61(10):1009-1015.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023. FAOSTAT2023. <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (Accessed April 15, 2023).

Gao CF, Ma SZ, Shan CH, Wu SF, 2014. Thiamethoxam resistance selected in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae): cross-resistance patterns, possible biochemical mechanisms and fitness costs analysis. *Pestic. Biochem. Physiol.* 114:90-96.

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.

Gao Y, Yoon KA, Lee JH, Kim JH, Lee SH, 2022. Overexpression of glutamate-gated chloride channel in the integument is mainly responsible for emamectin benzoate resistance in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Pest. Manag. Sci.* 78(10):4140-4150.

Gupta R, Kwon SY, Kim ST, 2018. An insight into the tomato spotted wilt virus (TSWV), tomato and thrips interaction. *Plant. Biotechnol. Rep.* 12:157-163.

Grant AH, Tanya MJ, 2005. Monitoring insecticide resistance in Australian *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) detects fipronil and spinosad resistance. *Aust. J. Entomol.* 44(3):299-303.

Jones DR. 2005. Plant viruses transmitted by thrips. *Eur. J. Plant. Patho.* 113:119-157. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-2334-1>

Kim CY, Choi DY, Kang JH, Shabbir A, Kil EJ, et al., 2022. Thrips infesting hot pepper cultured in greenhouses and variation in gene sequences encoded in TSWV. *Kor. J. Appl. Entomo.* 60(4):387-401.

Kim JW, Kim SJ, Lee SY, Lee DH, Do YS, et al., 2018. Seasonal occurrence and insecticide susceptibility by thrips on apple orchards in Gyeongbuk Area. *Korean J. Pestic. Sci.* 22(1):1-7. (In Korean)

Kim SK, 2016. A key to four thrips (Thysanoptera: Thripidae) of agricultural importance in Korea. *J. Agri. Life Environ. Sci.* 28(2):1-9.

Kirk WD, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agri. For.*

- Entomol. 5(4):301-310.
- Kliot A, Ghanim M, 2012. Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Manag. Sci.* 68(11):1431-1437.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2022. User's guidebook of pesticides. (In Korean)
- Korean Statistical Information Services (KOSIS), 2023. 「Crop production survey」 [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0027&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0027&conn_path=I3) (Accessed Mar. 21, 2022) (In Korean)
- Lee YS, Lee HA, Lee HJ, Hong SS, Kang CS, et al., 2017. Insecticide susceptibility of western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on horticultural crops in Gyeonggi area. *Korean J. Appl. Entomol.* 56(2): 179-186. (In Korean)
- Li D, Shang XY, Reitz S, Nauen R, Lei ZR, et al., 2016. Field resistance to spinosad in western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Integr. Agric.* 15 (12):2803-2808.
- Minakuchi C, Inano Y, Shi X, Song D, Zhang Y, et al., 2013. Neonicotinoid resistance and cDNA sequences of nicotinic acetylcholine receptor subunits of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.* 48(2013):507-513.
- Park HH, Lee JH, Uhm KB, 2007. Economic thresholds of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) for unripe red pepper in greenhouse. *J. Asia Pac. Entomol.* 10(1):45-53.
- Pozzebon A, Boaria A, Duso C, 2015. Single and combined releases of biological control agents against canopy-and soil-dwelling stages of *Frankliniella occidentalis* in cyclamen. *BioControl.* 60(3):341-350.
- Quinet M, Angosto T, Yuste-Lisbona FJ, Blanchard-Gros R., Bigot S et al., 2019. Tomato fruit development and metabolism. *Front. Plant Sci.* 10:1554.
- Reitz SR, Gao Y, Kirk WD, Hoddle MS, Leiss KA, et al., 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 65:17-37.
- Rural Development Administration (RDA), 2020. 'Tomato [electronic data]/Rural Development Administration (Jeonju: RDA technology dissemination department, 2020), 287-316
- Sanches MD, Wise JC, 2020. The arthropod pesticide resistance database. Michigan State University. <https://www.pesticideresistance.org/>.
- SAS/STAT® 9.3 user's guide, 2011. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Wang ZH., Gong YJ, Jin GH, Li BY, Chen JC, et al., 2016. Field-evolved resistance to insecticides in the invasive western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China. *Pest Manag. Sci.* 72(7): 1440-1444.
- Whitfield AE, Ullman DE, German TL, 2005. Tospovirus-thrips interactions. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43(1):459-489.
- Woo KS, Ahn SB, Lee SH, Kwon HM, 1994. First record of *Frankliniella occidentalis* and its distribution and host plants in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 33:127. (In Korean)
- Yoon JB, Cho YS, Yang CY, Seo MH, 2020. Insecticide susceptibility on developmental stages of *Frankliniella occidentalis* in chrysanthemum cultivation. *Korean J. Pestic. Sci.* 24(2):148-155.
- Yu JS, Kim JI, Kim GH, 2002. Insecticide susceptibilities of rose field-collected populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 6(2):80-86. (In Korean)
- Zhang K, Yuan J, Wang J, Hua D, Zheng X, et al., 2022. Susceptibility levels of field populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to seven insecticides in China. *Crop Prot.* 153:105886.

## 영남지역 토마토 시설재배지에 발생한 꽃노랑총채벌레에 대한 살충제 5종의 약제 반응

이호욱<sup>1</sup> · 최재혁<sup>1,2</sup> · 이종원<sup>1,2</sup> · 김이슬<sup>3</sup> · 유황빈<sup>1</sup> · 김민재<sup>1</sup> · 장 철<sup>3</sup> · 이동운<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>(주) 누보 중앙연구소, <sup>3</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소

**요 약** 꽃노랑총채벌레는 식물병을 매개하는 해충으로서 국제적 중요도가 높은 작물인 토마토에 발생하여 막대한 손실을 유발한다. 이를 막기 위해 농가에서는 살충제를 활용하여 꽃노랑총채벌레를 방제하나 부적절한 약제처리로 인해 꽃노랑총채벌레의 약제 저항성을 유발시키고 있다. 따라서, 효율적인 꽃노랑총채벌레 방제를 위해 지역 개체군에 대한 약제 저항성 현황 조사가 필요하다. 본 연구는 창원, 김해, 포항에 위치한 토마토 시설재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레를 대상으로 5종 살충제(아크리나트린 5.7% 액상수화제, 디노테푸란 20% 입상수화제, 에마멕틴벤조에이트 2.15% 미탁제, 클로르페나피르 5% 유제, 플룩사메타마이드 9% 유제)를 처리하여 약제별 반응과 살충제저항성을 평가하였다. 약제별에 따라 살충효과는 다양하게 나타났는데 지역간에도 큰 차이를 보였다. 아크리나트린은 세 지역 모두에서 높은 저항성비와 낮은 방제효과지수를 보였다. 플룩사메타마이드는 세 지역 모두에서 낮은 저항성비를 보였으나 포항지역에서는 상대적으로 높은 방제효과지수를 나타내었다. 에마멕틴벤조에이트의 경우도 김해와 포항 지역 개체군에서 낮은 저항성비와 방제효과지수를 나타내었다. 지역 간에 저항성비가 높거나 방제효과지수가 높은 약종들에 대해서는 농가 사용에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

**색인어** 저항성, 효과, 아크리나트린, 플룩사메타마이드, 에마멕틴벤조에이트