

꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레에 대한 51종의 살충제 감수성 평가

조성우 · 경예진 · 조선란 · 신소은 · 정대훈 · 김성일 · 박근호 · 이승주 · 이영수¹ · 김민기² · 조인준³ · 구현나 · 김현경 · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ¹경기도농업기술원 농업환경연구과, ²경북농업기술원 농업환경연구과, ³부여농업기술센터 기술지원과

Evaluation of Susceptibility of Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*) and Garden Thrips (*F. intonsa*) to 51 Insecticides

Sung Woo Cho, Yejin Kyung, Sun-Ran Cho, Soeun Shin, Dae Hun Jeong, Sung Il Kim, Geun-Ho Park, Seung-Ju Lee, Young-Su Lee¹, Min-Ki Kim², In-Jun Jo³, Hyun-Na Koo, Hyun Kyung Kim and Gil-Hah Kim*

Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

¹Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong 18388, Korea

²Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Daegu 41404, Korea

³Buyeo Agricultural Technology Center, Buyeo 33119, Korea

ABSTRACT: The susceptibility of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* and garden thrips, *Frankliniella intonsa* was evaluated using 51 commercial insecticides. 15 kinds of insecticides which showed more than 90% mortality against both thrips, *F. occidentalis* and *F. intonsa* was selected. Many active ingredients were misused and abused in commercial mixture formulation insecticides. Since the *F. intonsa* was more susceptible than *F. occidentalis*, it was considered that both thrips can be controlled by insecticides that showed insecticidal activity on the *F. occidentalis*. Lethal time (LT₅₀ and LT₉₅), systemic toxicity and residual toxicity of selected insecticides were compared. Both chlorpyrifos WP and chlorpyrifos + diflubenzuron WP revealed the fastest toxicity within 2 h (LT₉₅), while spinetoram WG revealed the slowest toxicity as 62.3 h (LT₉₅). Chlorfenapyr SC showed toxicity at foliar and drenching application while spinetoram WG was toxic only in foliar application. Chlorfenapyr SC showed residual effect at 3, 5, 7, 10, 15 days after treatment and both benfuracarb WG and chlorpyrifos WP showed residual effect at 3 days after treatment. As a result of treatment of selected insecticides for field population of *F. occidentalis*, the population collected from horticultural crops showed lower susceptibility than the population collected from vegetable crops.

Key words: *Frankliniella occidentalis*, *Frankliniella intonsa*, Insecticide, Susceptibility

초록: 시판되고 있는 51종(단체 21종과 합제 30종)의 살충제를 이용한 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레 성충에 대한 약제 감수성을 검토한 결과 90% 이상의 살충률을 보인 약제 15종을 선발하였으며, 시판되고 있는 합제에서 많은 유효성분들이 오남용되고 있다고 보여진다. 2종의 총채벌레에 대한 살충제 감수성을 비교한 결과 모든 약제에 대하여 대만총채벌레가 꽃노랑총채벌레에 비해 높은 감수성을 보이기 때문에 꽃노랑총채벌레에 효과 있는 약제로 동시방제가 가능할 것으로 판단된다. 꽃노랑총채벌레를 대상으로 선발된 15종의 약제를 이용하여 약효발현속도(LT₅₀과 LT₉₅), 침투이행성, 잔효성을 비교하였다. 약효 발현속도를 LT₉₅ (hour)값으로 비교했을 때, chlorpyrifos WP, chlorpyrifos + diflubenzuron WP가 2시간 이내로 가장 빨랐고, spinetoram WG은 62.3시간으로 가장 느렸다. Chlorfenapyr SC에서 뿌리와 엽면을 통한 침투이행 효과가 나타났고, spinetoram WG에서 엽면을 통한 침투이행 효과만이 나타났다. 약제 잔효성 실험에서 chlorfenapyr SC는 14일, benfuracarb WG와 chlorpyrifos WP는 3일까지 효과가 지속되었다. 꽃노랑총채벌레 야외집단(화훼채배지와 과채류채배지)간의 감수성 비교에서는 화훼채배지에서 채집된 집단이 더 낮은 약제 감수성을 보였다.

검색어: 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레, 살충제, 감수성

*Corresponding author: khkim@cbnu.ac.kr

Received August 3 2018; Revised August 22 2018

Accepted August 24 2018

총채벌레는 채소, 과일 등 원예 및 농작물에서 심각한 피해를 일으키고 전 세계적으로 광범위하게 분포하는 해충으로 (Lacasa and Llorens, 1996; Reitz et al., 2011), 성충과 유충이 과실류와 채소류에 은백색의 섭식흔과 산란흔을 남기게 된다 (Kirk and Terry, 2003; Cockfield et al., 2007; Demirozer et al., 2012). 또한 MCMV (Maize Chlorotic Mottle Machlomovirus), INSV (Impatiens necrotic spot virus)와 TSWV (Tomato spotted wilt virus) 등을 매개하여 경제적 손실을 일으킨다 (Pappu et al., 2009; Webster et al., 2011; Zhao et al., 2014).

꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)는 1970년대부터 원예 품목의 국제 무역이 확대됨에 따라 전 세계적으로 분포하고 있다(Kirk and Terry, 2003). 호주는 1993년, 중국의 경우에는 윈난성 지역에서 2000년대에 처음 발견되었고, 한국에서는 1993년 8월 제주도 서귀포시 밀감하우스의 재배농가에서 처음으로 발견되었으며, 현재 전국적으로 분포하고 있다 (Malipatil et al., 1993; Woo et al., 1994; Zhang et al., 2003; Park et al., 2007). 대만총채벌레(*F. intonsa*)는 국내에서 1971년에 공식적으로 기록되었으며(Woo and Paik, 1971), 최근 연구에 의하면 국내에서 경북 6개 지역의 사과원에서 대만총채벌레가 우점종으로 나타났다(Kim et al., 2018). 이들 역시 꽃노랑총채벌레와 같이 전 세계적으로 주요 원예작물과 농작물의 대표적 해충으로 알려져있다(Atakan, 1998; Teulon and Nielsen, 2005; Zhang et al., 2011).

꽃노랑총채벌레의 경제적 한계선은 꽃 당 성충 또는 약충이 0.7~2.1마리이면 방제를 수행해야 하는데 총채벌레는 세대 주기가 짧고 번식력이 높으며 바이러스와 같은 2차 피해를 일으키므로 낮은 밀도일 때 방제가 수행되어야 한다(Park et al., 2007). 총채벌레를 방제하는데 있어서 살충제의 사용은 중요한 전략 중 하나이나, 살충제의 의존함에 따라 저항성 발현을 유발하기도 한다(Immaraju et al., 1992; Robb et al., 1995; Broughton and Herron, 2007; Chatzivassiliou, 2008; Funderburk, 2009; Gao et al., 2012). 꽃노랑총채벌레는 다양한 계열(유기인계, 카바메이트계, 네오니코티노이드계, 피레스로이드계, 스피노신계 등)의 약제에 대한 저항성이 보고되었다(Immaraju et al., 1992; Brødsgaard, 1994; Robb et al., 1995; Zhao et al., 1995; Broadbent and Pree, 1997; Espinosa et al., 2002a; Espinosa et al., 2002b; Choi et al., 2005; Bielza et al., 2007; Zhang et al., 2008; Wang et al., 2011; Gao et al., 2012; Gholami and Sadeghi, 2016). 국내에서도 김해와 고양의 장미 재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레에 대한 chlorfenapyr 약제저항성 비가 높게 나타났고, 구례, 광양, 순천, 제주 지역에서 네오니코티노이드

드계 농약인 thiamethoxam과 acetamiprid에 대하여 꽃노랑총채벌레의 저항성을 보고하였으며 경북지역의 야외개체에서는 imidacloprid에 대해 50% 미만의 사충률을 나타내었다(Yu et al., 2002; Choi et al., 2005; Lee et al., 2017; Kim et al., 2018)

이와 같이 많은 지역에서 다양한 약제에 대한 저항성이 보고됨에 따라, 총채벌레 방제에 어려움을 많이 호소하고 있으며, 이를 극복하기 위한 대안이 필요한 시점이다(Lee et al., 2017). 따라서 본 연구는, 저항성 집단과 관련하여 방제전략의 기초 자료를 제공하기 위하여, 국내에 등록된 51종의 살충제를 이용하여 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레의 감수성평가와 약제의 효력에 관한 실험, 꽃노랑총채벌레 지역적 감수성 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

시험곤충

시험곤충인 꽃노랑총채벌레는 2014년 김해 장미재배지, 대만총채벌레는 2011년 청주 고추밭에서 채집하여 충북대학교 곤충사육실에서 어떠한 살충제에도 노출시키지 않으면서 누대 사육한 개체를 사용하였다. 누대 사육은 온도 25~27°C, 광주기 16L: 8D, 상대습도 50~60%에서 강낭콩 떡잎을 먹이로 공급하여 사육하였다. 야외집단 살충효과 평가에 사용된 꽃노랑총채벌레는 2018년 4월 경기 화성(HS), 충북 진천(JC) 국화재배지, 충북 천안(CA) 딸기재배지, 5월 경북 구미(KM) 국화재배지, 충북 청주(CJ) 딸기재배지, 7월 충남 부여(BY) 수박재배지에서 채집된 집단을 바로 실험에 이용하였으며, 감수성 계통 꽃노랑총채벌레는 경기도 농업기술원에서 3년동안 살충제의 접촉 없이 누대사육된 개체를 분양받아 사육실에서 누대 사육하며 이용하였다.

시험약제

본 실험에 사용된 약제는 카바메이트계 1종, 유기인계 2종, 피레스로이드계 2종, 네오니코티노이드계 5종, 설폰시민계 1종, 스피노신계 2종, IBR계 1종, 파이롤계 1종, 네레이스톡신계 1종, 벤조일우레아계 1종, 디아미드계 1종, 테트로닉산계 1종, 아버멕틴계 2종을 포함한 단제 21종, 합제 30종으로 총 51종의 시판되고 있는 제품을 사용하였으며, 각 살충제에 대한 일반명과 유효성분, 제형 및 추천농도는 Table 1과 같다.

Table 1. Tested 51 commercial insecticides

Insecticides (AI ^a) Formulation ^b	Rec. Conc. (ppm)	Insecticides	Rec. Conc. (ppm)
<i>Avermectins</i>		<i>Mixtures</i>	
Abamectin (1.8) EC	6	Abamectin + acetamiprid (1.6 + 7) ME	43
Emamectin benzoate (2.15) EC	10.75	Abamectin + chlorantraniliprole (1.7 + 4.3) SC	30
<i>Benzoylurea</i>		Abamectin + chlorfenapyr (0.5 + 10) SC	35
Novaluron (10) SC	50	Abamectin + cyflumetofen (0.8 + 10) DC	108
<i>Carbamate</i>		Abamectin + emamectin benzoate (1.7 + 1.7) WP	17
Benfuracarb (30) WG	300	Abamectin + spiroadiclofen (1.2 + 28) SC	146
<i>Diamide</i>		Abamectin + sulfoxaflor (1.5 + 6.2) SC	10.6
Cyantraniliprole (5) EC	50	Acetamiprid + etofenprox (2.8 + 8) WP	105
<i>Neonicotinoids</i>		Acetamiprid + indoxacarb (4 + 5) SC	90
Acetamiprid (8) SP	40	Acetamiprid + lufenuron (8 + 5) SC	65
Clothianidin (8) SC	80	Acetamiprid + novaluron (7 + 9) EC	80
Dinotefuran (10) SL	100	Acetamiprid + pyriproxyfen (7 + 5) WG	60
Imidacloprid (20) ME	50	α -cypermethrin + flufenoxuron (2 + 2) EC	40
Thiamethoxam (10) WG	100	Buprofezin + dinotefuran (20 + 15) WP	175
<i>Nereistoxin analogue</i>		Buprofezin + spinetoram (20 + 4) SC	120
Thiocyclam hydrogen oxalate (25) WP	250	Buprofezin + thiamethoxam (20 + 3.3) SC	233
<i>Organophosphates</i>		Chlorantraniliprole + thiamethoxam (8 + 16.5) SC	49
Chlorpyrifos (25) WP	200	Chlorfenapyr + clothianidin (6 + 6) SC	60
Dichlorvos (20) EC	100	Chlorfenapyr + imidacloprid (8 + 4) SC	60
<i>Pyrethroids</i>		Chlorpyrifos + diflubenzuron (20 + 7) WP	270
Bifenthrin (2) WP	20	Clothianidin + spinetoram (6 + 4) SC	50
λ -cyhalothrin (1) EC	10	Cyantraniliprole + pymetrozine (10 + 50) WG	120
<i>Pyridine azomethine derivative (IBR^c)</i>		Cyantraniliprole + thiamethoxam (20 + 20) WG	80
Pyriproxyfen (6.5) SC	32.5	Dichlorvos + λ -cyhalothrin (20 + 0.8) DC	104
<i>Pyrrole</i>		Dinotefuran + spinetoram (16 + 4) WG	100
Chlorfenapyr (10) SC	50	Emamectin benzoate + flonicamid (2 + 7) WG	45
<i>Spinosyns</i>		Emamectin benzoate + indoxacarb (1.7 + 8) WP	48.5
Spinetoram (5) WG	25	Flubendiamide + thiacloprid (10 + 10) SC	100
Spinosad (10) SC	50	Methoxyfenozide + spinetoram (6 + 4) SC	50
<i>Sulfoximine</i>		Pyridalyl + spinetoram (15 + 4.5) EW	97.5
Sulfoxaflor (7) SC	35		
<i>Tetronic and tetramic acid derivative</i>			
Spiroadiclofen (36) WP	180		

^aAI, Active ingredient.^bEC, Emulsifiable concentration; SC, Suspension concentrate; WG, Water dispersible granule; SP, Water soluble power; SL, Soluble concentrate; ME, Microemulsion; WP, Wettable powder; DC, Dispersible concentrate; EW, Emulsion in water.^cIBR, Insect behavior regulator.

실내집단 약제 감수성 평가

꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레의 감수성 평가는 엽침지법을 이용했다. 파종 후 2주 된 오이 떡잎(길이 4~5 cm, 너비 2.5~3 cm)을 떼어 추천농도로 희석한 약액에 30초간 침지한 후, 1시간 동안 음건하였으며, 농도별 감수성 비교에서 단계는 추천농도에서 2, 4, 8, 16, 32배 희석하였고 합제는 추천농도에서 16, 32, 64, 128, 256배 희석하여 사용하였다. 음건된 떡잎 한 장씩을 유리바이알(30 ml)에 넣고 흡충관을 이용해 총채벌레 성충 15~20마리를 접종한 후 filter paper (ϕ 12 mm)를 덮고 랩으로 밀봉하였다. 처리 72시간 후 몸길이만큼 움직이지 못하면 사망으로 판단하였다. 모든 시험은 3반복으로 수행하였으며, 총채벌레 두 종에 대해 90% 이상의 살충활성을 나타낸 15약제를 선발하였다.

약제 효과발현시간 조사

선발된 15종의 약제를 각 추천농도로 희석하여 오이 잎에 꽃노랑총채벌레 성충을 실내집단 약제 감수성 평가와 같은 방법으로 처리하였다. 모든 시험은 3반복 수행하였으며 접종 후 72시간까지 2시간 간격으로 사충률을 조사하여 LT_{50} 과 LT_{95} 값을 구하였다.

침투이행성 평가

엽면 침투이행성을 평가하기 위해서 오이의 한쪽 잎을 선발된 15종 약제의 추천농도로 희석된 약액에 30초간 침지하고 24시간 후 침지되지 않은 잎을 떼어 꽃노랑총채벌레 성충을 실내집단 약제 감수성 평가와 같은 방법으로 처리하였다. 뿌리 침투이행성은 추천농도로 희석된 약액을 오이 포트에 관주처리하고 24시간 후 잎을 떼어 약제 감수성 평가와 같은 방법으로 처리하였다. 모든 실험은 3반복으로 네트하우스에서 수행하였으며 본 실험에 사용된 오이는 파종 5~6주 후 본엽이 3매가 나올 때의 것을 사용하였다.

잔효성 평가

선발된 15종의 약제의 추천농도로 희석된 약액을 오이 포트에 분무처리한 후 3, 5, 7, 10, 14일에 잎을 떼어 꽃노랑총채벌레 성충을 실내집단 약제 감수성 평가와 같은 방법으로 처리하였다. 모든 시험은 3반복으로 수행하였고, 실험에 사용된 오이는 침투이행성 평가와 같이 준비하였다.

야외집단 살충효과 평가

야외집단에서 채집한 꽃노랑총채벌레 집단에 대해 선발된 15종의 약제를 각 추천농도로 희석하여 약제 감수성 평가와 같은 방법으로 처리하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

통계 분석

약제별 살충효과 비교는 Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2011)로 비교하였다. 또 효과발현시간은 Probit 분석법(SAS Institute, 2011)으로 총채벌레가 50%와 95% 치사도달시간(LT_{50} 과 LT_{95}) 값을 구하여 비교하였다.

결과 및 고찰

약제 감수성

시판되고 있는 51종의 약제(단체 21종, 합제 30종)를 추천농도로 처리하여 실내에서 누대사육한 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레 성충에 대한 감수성을 평가하였다(Table 2). 모든 약제에 대하여 꽃노랑총채벌레가 대만총채벌레보다 약제에 대한 감수성이 낮게 나타났다. 51종의 약제 중 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레, 두 종 모두 90% 이상의 살충효과를 나타낸 5종의 단체(benfuracarb WG, chlorfenapyr SC, chlorpyrifos WP, spinetoram WG, spinosad SC)와 10종의 합제(abamectin + chlorfenapyr SC, abamectin + emamectin benzoate WP, buprofezin + spinetoram SC, chlorfenapyr + clothianidin SC, chlorfenapyr + imidacloprid SC, chlorpyrifos + diflubenzuron WP, clothianidin + spinetoram SC, dinotefuran + spinetoram WG, methoxyfenozide + spinetoram SC, pyridalyl + spinetoram EW)를 선발하였다. 본 연구와 비슷하게 Shan et al. (2012)의 연구에서 benfuracarb에 대한 꽃노랑총채벌레가 방제되었다고 보고하였고, chlorfenapyr, chlorpyrifos에 대한 꽃노랑총채벌레에 대하여 높은 방제효과를 나타내었으며(Horren and James, 2007; Lee et al., 2017; Ludwig and Oetting, 2001). 뿐만 아니라 spinosad와 spinetoram에 대한 꽃노랑총채벌레의 방제효과 또한 보고되어있다(Ludwig and Oetting, 2001; Srivastava et al., 2008). 10종 중 9종의 합제는 단체로서 높은 사충률을 나타낸 chlorfenapyr, chlorpyrifos, spinetoram을 포함하고 있지만, abamectin, clothianidin, imidacloprid, diflubenzuron, dinotefuran과 같이 효과가 낮은 유효성분이 혼합되어 남용되고 있다. 또한 살충효과가 낮게 나타난 유효성분들을 혼합한 합제의 살충효

Table 2. Comparison of susceptibility of *F. occidentalis* and *F. intonsa* lab strain adults during 3d exposure period to 51 commercial insecticides

Insecticides	<i>F. occidentalis</i>		<i>F. intonsa</i>	
	<i>n</i>	% Mortality (mean ± SE)	<i>n</i>	% Mortality (mean ± SE)
Abamectin	35	21.4 ± 4.1 fgh ^a	49	63.3 ± 6.7 a-g
Acetamiprid	45	4.5 ± 2.2 h	53	34.4 ± 4.1 e-i
Benfuracarb	50	98.4 ± 1.6 a	61	100.0 ± 0.0 a
Bifenthrin	49	6.3 ± 3.4 h	49	19.5 ± 8.1 hi
Chlorfenapyr	50	100.0 ± 0.0 a	53	100.0 ± 0.0 a
Chlorpyrifos	49	100.0 ± 0.0 a	47	100.0 ± 0.0 a
Clothianidin	43	13.3 ± 7.7 gh	51	79.8 ± 16.3 abc
Cyantraniliprole	58	8.7 ± 4.8 gh	49	18.4 ± 7.7 hi
Dichlorvos	43	49.0 ± 4.1 c-f	42	78.5 ± 0.9 a-d
Dinotefuran	48	6.5 ± 4.2 h	51	69.5 ± 23.4 a-e
Emamectin benzoate	65	78.6 ± 5.0 abc	47	92.9 ± 7.1 a
Imidacloprid	36	16.2 ± 8.5 fgh	49	75.6 ± 9.7 a-e
λ-cyhalothrin	42	33.3 ± 1.4 e-h	44	39.0 ± 9.2 c-i
Novaluron	50	0.0 ± 0.0 h	61	14.9 ± 7.7 i
Pyrifluquinazon	43	29.6 ± 9.9 e-h	49	47.2 ± 12.1 b-i
Spinetoram	38	95.6 ± 4.4 a	58	100.0 ± 0.0 a
Spinosad	44	94.4 ± 5.6 a	58	100.0 ± 0.0 a
Spirodiclofen	48	1.3 ± 0.8 gh	60	12.5 ± 5.7 i
Sulfoxaflor	49	13.3 ± 10.2 gh	54	13.5 ± 8.6 i
Thiamethoxam	36	14.6 ± 6.4 gh	56	72.6 ± 10.7 a-e
Thiocyclam hydrogen oxalate	52	22.9 ± 11.9 fgh	51	24.8 ± 7.0 f-i
Abamectin + acetamiprid	47	74.5 ± 6.7 a-d	53	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + chlorantraniliprole	53	7.5 ± 4.6 gh	44	20.5 ± 3.6 hi
Abamectin + chlorfenapyr	52	96.0 ± 2.2 a	54	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + cyflumetofen	44	40.8 ± 7.3 d-g	46	36.7 ± 6.6 d-i
Abamectin + emamectin benzoate	70	91.3 ± 6.2 a	69	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + spirodiclofen	41	78.6 ± 6.0 abc	69	100.0 ± 0.0 a
Abamectin + sulfoxaflor	37	25.4 ± 13.4 e-h	51	14.3 ± 4.3 i
Acetamiprid + etofenprox	41	30.9 ± 7.3 e-h	51	58.8 ± 4.1 a-h
Acetamiprid + indoxacarb	55	15.0 ± 7.6 gh	43	23.9 ± 16.6 ghi
Acetamiprid + lufenuron	56	10.9 ± 3.1 gh	45	9.6 ± 4.8 i
Acetamiprid + novaluron	45	5.3 ± 5.3 h	52	18.9 ± 2.8 hi
Acetamiprid + pyrifluquinazon	47	12.5 ± 2.7 gh	46	6.1 ± 3.4 i
α-cypermethrin + flufenoxuron	44	30.0 ± 4.2 e-h	44	45.4 ± 11.6 b-i
Buprofezin + dinotefuran	50	25.9 ± 8.8 e-h	45	11.1 ± 5.9 i
Buprofezin + spinetoram	43	92.9 ± 4.1 a	51	100.0 ± 0.0 a
Buprofezin + thiametoxam	49	13.6 ± 9.1 gh	55	66.7 ± 4.0 a-f
Chlorantraniliprole + thiamethoxam	50	21.7 ± 2.3 fgh	55	7.1 ± 1.4 i
Chlorfenapyr + clothianidin	60	100.0 ± 0.0 a	49	100.0 ± 0.0 a
Chlorfenapyr + imidacloprid	54	100.0 ± 0.0 a	51	100.0 ± 0.0 a

Table 2. Continued

Insecticides	<i>F. occidentalis</i>		<i>F. intonsa</i>	
	<i>n</i>	% Mortality (mean ± SE)	<i>n</i>	% Mortality (mean ± SE)
Chlorpyrifos + diflubenzuron	55	100.0 ± 0.0a	61	100.0 ± 0.0a
Clothianidin + spinetoram	64	94.6 ± 2.7a	48	100.0 ± 0.0a
Cyantraniliprole + pymetrozine	52	14.7 ± 9.3gh	41	9.7 ± 5.0i
Cyantraniliprole + thiamethoxam	41	21.8 ± 2.0fgh	55	13.8 ± 3.7i
Dichlorvos + λ-cyhalothrin	44	57.2 ± 2.5b-e	59	100.0 ± 0.0a
Dinotefuran + spinetoram	61	97.4 ± 2.6a	54	100.0 ± 0.0a
Emamectin benzoate + flonicamid	45	85.1 ± 8.5ab	49	87.9 ± 3.1ab
Emamectin benzoate + indoxacarb	63	84.0 ± 5.0ab	54	82.9 ± 14.8ab
Flubendiamide + thiacloprid	45	15.3 ± 5.3fgh	43	19.8 ± 13.7hi
Methoxyfenozide + spinetoram	47	100.0 ± 0.0a	43	100.0 ± 0.0a
Pyridalyl + spinetoram	38	92.3 ± 7.7a	46	100.0 ± 0.0a
Control	56	5.3 ± 2.9h	44	5.0 ± 2.5i

^aMeans followed by the same letters are not significantly different ($p = 0.05$; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.3 (SAS, 2011))).

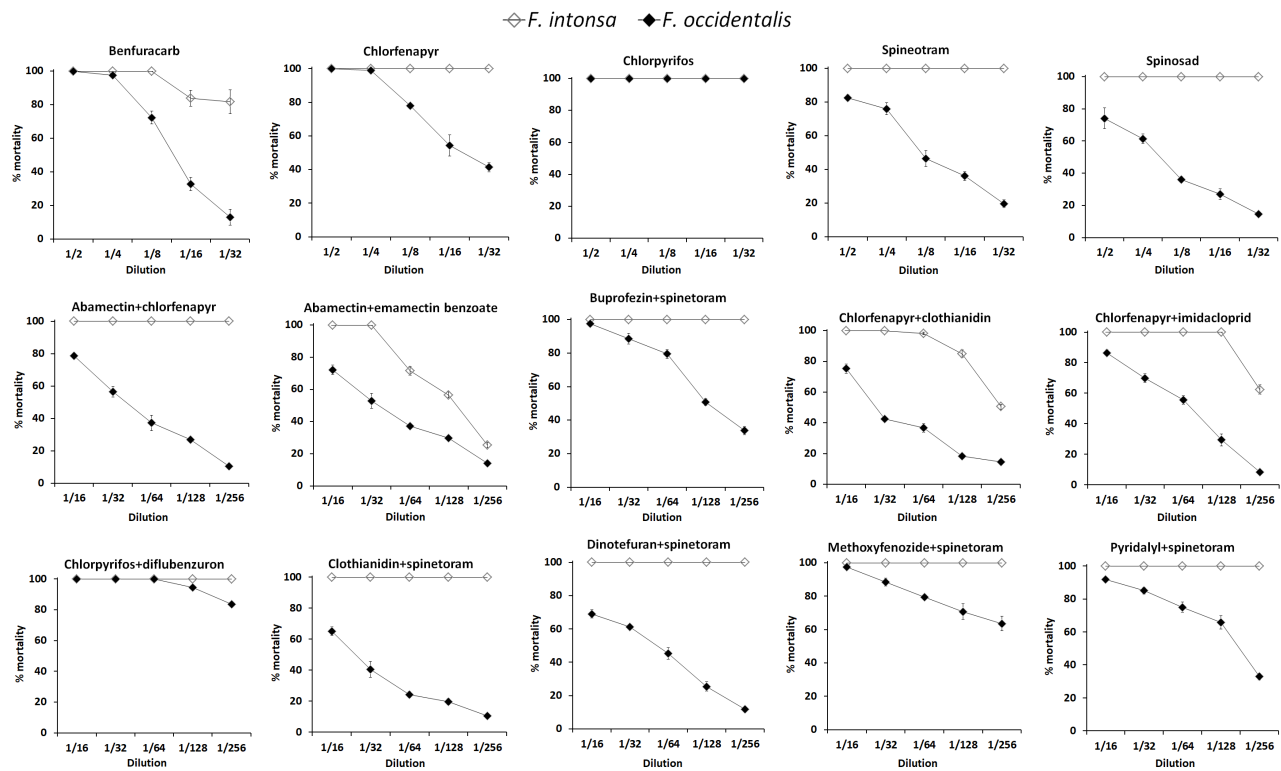


Fig. 1. Susceptibility difference between *F. occidentalis* and *F. intonsa* adults during 3d exposure period to 15 insecticides. Sample size, $n = 45-60$.

과는 상승효과 없이 모두 낮게 나타났다. 이를 통해, 여러 합제에서 유효성분들이 오남용되고 있다고 볼 수 있으며, 이러한 잘못된 사용은 저항성의 증가를 야기할 수 있다고 생각된다.

대만총채벌레와 꽃노랑총채벌레에 실내집단에 대해 선발된 약제 15종의 농도별 살충효과를 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 단체 5종, 합제 10종 모두 5개의 농도에서 대만총채벌레의 약

제감수성이 높게 나타났기 때문에 대만총채벌레와 꽃노랑총채벌레가 혼재하고 있을 때 꽃노랑총채벌레에 효과가 있는 약제를 사용하는 것만으로도 대만총채벌레의 동시방제가 가능할 것으로 생각된다. Bhuyain and Lim (2015)이 발표한 결과에서 chlorfenapyr, chlorpyrifos, thiamethoxam, spinosad, s-metolachlor 및 metalaxyl과 같은 약제에 대해 대만총채벌레가 꽃노랑총채벌레보다 감수성이 높은 것으로 나타났고, 이는 본 연구의 결과와 같은 경향을 나타낸다.

약제 효과발현시간

선발된 15종의 약제에 대해 발현속도를 검정한 결과는 Table 3과 같다. Chlorpyrifos WP, chlorpyrifos + diflubenzuron WP에서 2시간 이내에 95%가 치사하여 살충효과가 상당히 빠른 시간 안에 발현되었다. Benfuracarb WG는 14시간 안에 95%의 빠른 살충효과를 나타내었고, chlorfenapyr SC, spinosad SC와 합제 9종에서 48시간 이내에 95% 살충효과를 나타내었다. 파밤나방(*Spodoptera exigua*) 2령 유충의 경우 LC₅₀값으로 처리 시 chlorpyrifos는 14.7시간, emamectin benzoate는 26시간이 지나야 LT₅₀값에 이른다 하였다(Saeed et al., 2012). Imidacloprid에 대한 꽃노랑총채벌레의 LT₅₀값은 15.42시간으로 나타났으며 반수knockdown시간(KT₅₀) 값은 7.68시간으로 나타나 치사에 이르지는 못하지만 knockdown시 햇빛에 노출되어 수분의

손실로 치사에 이르게 할 수 있어 이 또한 총채벌레 방제에 중요한 역할을 한다 하였다(Gholami et al., 2015). Spinetoram WG는 사충률이 95%를 나타내는 시간이 62.3시간으로 가장 늦은 효과발현시간을 보였다.

침투이행성

선발된 15종의 약제에 대하여 침투이행성 검정 결과는 Fig. 2와 같다. 뿌리를 통한 침투이행성 효과와 엽면을 통한 침투이행성 효과를 조사한 결과, chlorfenapyr SC 약제에서 사충률이 100, 78.7%로 높게 나타났다. 또한 spinetoram WG에서 엽면을 통한 침투이행성 효과가 83.8%로 높게 나타났지만, 두 약제를 제외한 13종의 약제에서는 뿌리를 통한 침투이행성 효과와 엽면을 통한 침투이행성 효과가 모두 40% 미만으로 낮게 나타났다. 본 연구에서는 spinosad에 대하여 옆면과 뿌리를 통한 침투이행에 따른 사충률이 각각 5.3, 2.8%로, 토마토 뿌리에 spinosad를 처리하였을 때 점박이응애 방제효과가 우수하다는 결과(Van Leeuweun et al., 2005)와 다르게 나타났다. Van Leeuwen et al. (2005)의 연구에 따르면 토질에 따라서, 그리고 식물에 따라서 침투이행성이 각각 다르게 나왔다고 보고한 것을 토대로, 처리된 환경조건에 따라 침투이행성 정도가 다르다고 여겨진다.

Table 3. Lethal time of *F. occidentalis* lab strain adults during 3d exposure period to 15 insecticides selected from Table 2

Insecticides	n	Slope ± SE	LT ₅₀ (h) (95% FL) ^a	LT ₉₅ (h) (95% FL)
Benfuracarb	52	3.2 ± 0.3	4.3 (3.5 - 5.1)	14.0 (11.6 - 18.2)
Chlorfenapyr	52	4.3 ± 1.1	11.9 (7.9 - 16.2)	28.6 (19.8 - 81.8)
Chlorpyrifos	46	-	-	< 2.0
Spinetoram	43	2.5 ± 0.2	13.5 (11.9 - 15.3)	62.3 (49.0 - 86.6)
Spinosad	47	3.5 ± 0.4	12.2 (10.2 - 14.4)	36.5 (28.4 - 54.5)
Abamectin + chlorfenapyr	48	2.3 ± 0.3	5.6 (4.0 - 7.1)	29.4 (21.6 - 48.3)
Abamectin + emamectin benzoate	55	2.4 ± 0.1	6.5 (5.9 - 7.1)	32.5 (28.7 - 37.7)
Buprofezin + spinetoram	54	3.1 ± 0.2	7.4 (6.5 - 8.3)	25.5 (21.7 - 31.7)
Chlorfenapyr + clothianidin	62	4.4 ± 0.7	10.0 (8.2 - 11.8)	23.7 (18.9 - 35.1)
Chlorfenapyr + imidacloprid	60	4.0 ± 0.5	10.4 (8.8 - 12.0)	26.7 (21.7 - 37.0)
Chlorpyrifos + diflubenzuron	47	-	-	< 2.0
Clothianidin + spinetoram	59	2.9 ± 0.3	10.1 (8.6 - 11.6)	37.6 (30.3 - 51.1)
Dinotefuran + spinetoram	55	3.3 ± 0.4	8.4 (6.7 - 10.1)	26.7 (20.9 - 39.3)
Methoxyfenozide + spinetoram	53	3.8 ± 0.7	9.5 (7.1 - 12.0)	26.2 (19.2 - 49.8)
Pyridalyl + spinetoram	46	5.2 ± 0.4	15.1 (14.0 - 16.2)	31.4 (27.6 - 37.6)

^aFL, fiducial limits.

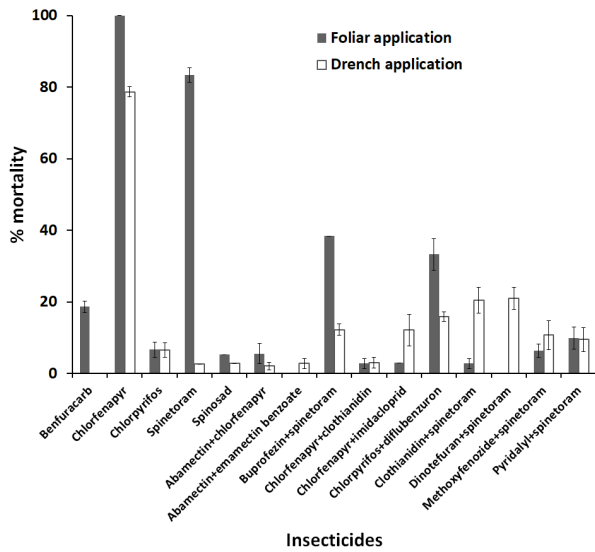


Fig. 2. Mortality of *F. occidentalis* by foliar and drench application against 15 insecticides. Sample size, $n = 45-60$.

잔효성

선발된 15종의 약제의 잔효성 검정 결과는 Fig. 3과 같다. 처리 3일 후, 5종의 단제 중 chlorfenapyr SC, benfuracarb WG, chlorpyrifos WP를 처리한 오이에서 꽃노랑총채벌레에 대하여 각각 100, 78.9, 77.8%의 사충률을 보였고, chlorfenapyr SC 약제만 14일까지 100%의 사충률을 보였다. Benfuracarb에 대하여 배추줄나방은 처리 20일 후에도 사충률이 90% 이상으로 (Yasudomi et al., 1990), 꽃노랑총채벌레보다 높은 사충률을 보였다. 이처럼 같은 유효성분을 갖고있는 약제여도 대상 해충마다 잔효성의 효과가 다른 것으로 보여진다. 합제는 처리 3일 후, chlorfenapyr + clothianidin SC, chlorfenapyr + imidacloprid SC 두 약제가 100%의 사충률을 보였으며, methoxyfenozide + spinetoram SC, pyridalyl + spinetoram SC에서 3일까지 각각 75.4, 67.9%의 사충률을 나타내었다. 하지만 14일 후에는 chlorfenapyr + clothianidin SC와 chlorfenapyr + imidacloprid SC가 각각 97.6%, 100%의 사충률을 나타내었다. 이와 같이 잔효성이 우수한 살충제는 살충효과가 지속된다는 점에서 경제성이 높다고 판단될 수 있지만, 그만큼 잔류독성의 위험성도 확인할 필요가 있다(Cho et al., 2011).

야외 집단에 대한 약제 감수성

선발된 15종의 약제에 대한 야외집단의 약제 감수성은 Table 4와 같다. 국화재배지에서 채집한 화성, 진천, 구미집단에 대해

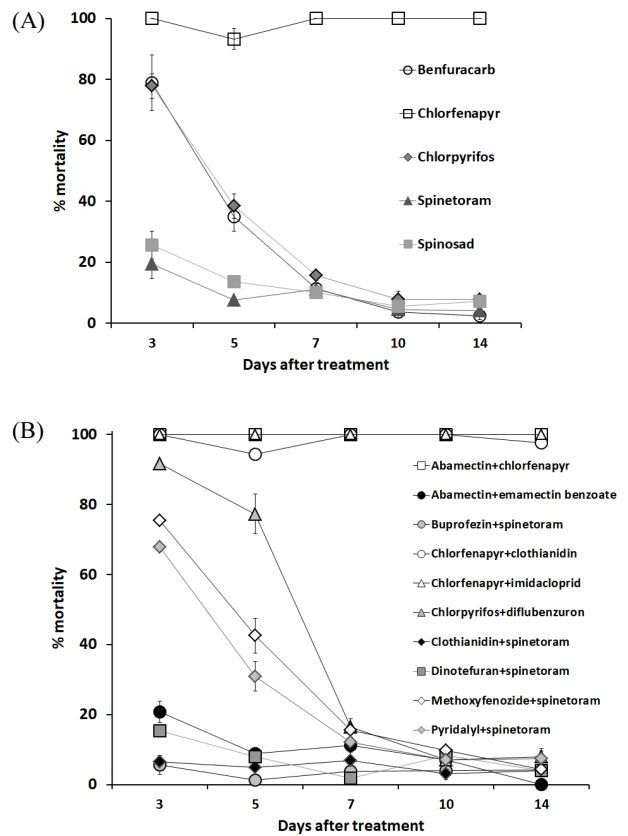


Fig. 3. Residual effects to *F. occidentalis* adult against 5 single active ingredient insecticides (A) and 10 mixed active ingredient insecticides (B).

benfuracarb WG는 각각 91.6, 91.0, 97.0%, chlorpyrifos WP는 각각 100.0, 97.9, 100.0%, chlorpyrifos + diflubenzuron WP는 각각 100.0, 96.6, 100.0%의 높은 살충효과를 나타냈다. Chlorfenapyr SC는 각각 83.8, 81.8, 100%의 살충효과를 나타냈으며, chlorfenapyr를 포함한 abamectin + chlorfenapyr SC는 각각 65.0, 62.1, 100.0%, chlorfenapyr + clothianidin SC는 각각 48.2, 81.0, 100.0%, chlorfenapyr + imidacloprid SC는 각각 47.9, 97.0, 100%로 화성, 진천집단에서의 chlorfenapyr 약제감수성이 낮게 나타났다. Spinetoram WG는 각각 38.1, 88.9, 71.7%, spinosad SC는 각각 73.7, 65.3, 76.1%로 과채류 재배지에서 채집한 집단에 비해 낮게 나타났다. 경기도의 국화 재배지에서의 spinosad와 spinetoram의 사충률은 과채류 재배지에 비하여 낮은 사충률을 보였으며 이는 본 연구와 같은 결과를 보인다(Lee et al., 2017). Spinosad의 경우 스페인에서는 2003년, 호주에서는 2002~2003년에 처음 저항성이 발견되었으나, 저항성이 선택압력 하에 신속하게 증가 할 수 있으며(Herron and James, 2005; Bielza et al., 2007), 실제로 중국에서 Shenxian 지역에서 채집한 꽃노랑총채벌레의 저항성비가 1년 사이에 81.7

Table 4. Susceptibilities of *F. occidentalis* adult populations collected from chrysanthemum, strawberry and watermelon to 15 insecticides selected from Table 2

Insecticides	% Mortality (mean ± SE) / population						
	HS (Ch ^a)	JC (Ch)	KM (Ch)	CJ (St ^b)	CA (St)	BY (Wa ^c)	S strain
Benfuracarb	91.6 ± 2.13ab ^d	91.0 ± 1.5a	97.0 ± 3.0ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Chlorfenapyr	83.8 ± 5.4ab	81.8 ± 6.9a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Chlorpyrifos	100.0 ± 0.0a	97.9 ± 2.1a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	70.3 ± 7.0bc	100.0 ± 0.0a
Spinetoram	38.1 ± 1.3de	88.9 ± 5.7a	71.7 ± 11.1ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	91.4 ± 4.8ab	100.0 ± 0.0a
Spinosad	73.7 ± 4.8abc	65.3 ± 3.2a	76.1 ± 1.7ab	100.0 ± 0.0a	97.9 ± 2.1a	82.1 ± 3.6abc	100.0 ± 0.0a
Abamectin + chlorfenapyr	65.0 ± 8.5bcd	62.1 ± 14.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	97.8 ± 2.2a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Abamectin + emamectin benzoate	51.0 ± 9.8cde	70.4 ± 7.7a	72.8 ± 4.6ab	93.4 ± 4.2b	98.9 ± 1.2a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Buprofezin + spinetoram	60.2 ± 2.3bcd	74.9 ± 6.9a	76.1 ± 3.0ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	65.7 ± 4.9c	100.0 ± 0.0a
Chlorfenapyr + clothianidin	48.2 ± 3.6cde	81.0 ± 6.3a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Chlorfenapyr + imidacloprid	47.9 ± 2.8cde	97.0 ± 3.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Chlorpyrifos + diflubenzuron	100.0 ± 0.0a	96.6 ± 1.7a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	77.8 ± 8.4abc	100.0 ± 0.0a
Clothianidin + spinetoram	62.8 ± 6.1bcd	80.9 ± 2.2a	91.1 ± 5.9ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	87.8 ± 6.2abc	100.0 ± 0.0a
Dinotefuran + spinetoram	72.7 ± 6.8abc	69.1 ± 7.2a	67.0 ± 9.2b	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	79.0 ± 10.8abc	100.0 ± 0.0a
Methoxyfenozide + spinetoram	71.4 ± 10.2abc	89.7 ± 10.3a	97.2 ± 2.8ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	97.6 ± 2.4a	100.0 ± 0.0a
Pyridalyl + spinetoram	28.2 ± 11.5ef	67.5 ± 11.9a	84.8 ± 15.2ab	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
Control	4.1 ± 2.1f	4.6 ± 2.3b	6.5 ± 0.5c	5.6 ± 5.6c	5.8 ± 0.5b	4.4 ± 2.3d	6.1 ± 3.4b

^aCh, Chrysanthemum.

^bSt, Strawberry.

^cWa, Watermelon.

^dMeans followed by the same letters are not significantly different ($p = 0.05$; Tukey's studentized range test (SAS Institute 9.3 (SAS, 2011))). HS, Hwa-seong; JC, Jin-cheon; KM, Ku-mi; CJ, Cheong-ju; CA, Cheon-an; BY, Bu-yeo; S-strain, Susceptible strain.

Sample size, $n = 45-60$.

에서 96.1로 증가한 사례가 있다(Li et al., 2016). 이와 같이 spinosad는 IPM 전략에 중요한 역할을 하며, 저항성 관리 개선이 중요하다고 말하고 있다(Herron and James, 2007). 화성 집단은 chlorpyrifos + diflubenzuron WP를 제외한 나머지 합제에서 상대적으로 낮은 사충률을 보였으며, 진천과 구미집단은 딸기재배지에서 채집된 청주, 천안집단과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 사충률을 보였지만, 같은 과채류인 수박재배지에서 7월에 채집된 부여집단은 chlorpyrifos, spinetoram과 spinosad에 대해 낮은 약제 감수성을 나타내었다. 이와 같이 과채류 재배지에서 4, 5월에 채집된 집단에 비해 약제 살포시기인 7월에 채집된 부여집단에서 일부 약제에 대한 감수성이 낮게 나타났으며 Lee et al. (2017)은 약제 살포시기가 제한적인 과채류 재배지에 반해, 상대적으로 약제 살포횟수와 살포량이 많은 화훼류 재배지에서 저항성 획득이 쉬울 수 있다고 말하고 있으며 본 연구의 결과에서도 화훼류 재배지에서 4, 5월에 저항성 꽃노랑총채벌레가 출현한 것으로 생각된다. 꽃노랑총채벌레의 생애는 살충제에 대한 노출을 최소화 할 수 있기 때문에 살충제에 대한 저항성을 진화시키는데 적합하며(Reitz and Funderburk,

2012), 다양한 약제의 저항성 발현에 대하여 최근에 많이 보고되고 있다(Immaraju et al., 1992; Brødsgaard, 1994; Robb et al., 1995; Zhao et al., 1995; Jensen, 2000; Morishita, 2001; Bielza et al., 2007; Dağlı and Tunç, 2007; Weiss et al., 2009; Kay and Herron, 2010). Cloyd (2009)는 꽃노랑총채벌레의 화학적 방제가 어려움을 겪고 있어 다양한 관리 및 전략을 사용해 야한다고 제안하고 있다. 따라서 가능한 오랫동안 효능을 유지하기 위해 살충제 저항성 위원회(IRAC)에서 권장하는대로, 작용기작이 서로 다른 약제의 교호살포와 약제 방제 이외의 방제법을 이용하는 종합적 방제전략 프로그램을 수립하는 것이 중요하다.

Literature Cited

- Atakan, E., 1998. Research on the biology and damage of flower thrips, *Frankliniella intonsa* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae) on cotton in Cukurova Region. Ph.D thesis, Institute of Natural and Applied sciences, University of Cukurova.
- Bhuyain, M.M., Lim, U.T., 2015. Relative susceptibility of

- Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* to pesticides. Conference of Korean Society of Applied Entomology, 22-24 April 2015, Yesan-gun, Korea, 169 pp.
- Bielza, P., Quinto, V., Contreras, J., Torne, M., Martin, 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(7), 682-687.
- Broadbent, A.B., Pree, D.J., 1997. Resistance to insecticides in populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) from greenhouses in the Niagara Region of Ontario. *Can. Entomol.* 129, 907-913.
- Brødsgaard, H.F., 1994. Insecticide resistance in European and African strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) tested in a new residue-on-glass test. *J. Econ. Entomol.* 87, 1141-1146.
- Broughton, S., Herron, G.A., 2007. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) chemical control: insecticide efficacy associated with the three consecutive spray strategy. *Aust. J. Entomol.* 46, 140-145.
- Chatzivassiliou, E.K., 2008. Management of the spread of *Tomato spotted wilt virus* in tobacco crops with insecticides based on estimates of thrips infestation and virus incidence. *Plant Dis.* 92, 1012-1020.
- Cho, S.R., Shin, Y.H., Yoon, C.M., Kim, G.H., 2011. Contact and residual toxicities of 26 insecticides against the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* and the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Korean J. Pestic. Sci.* 15, 310-316.
- Choi, B.R., Park, H.M., Yoo, J.K., Kim, S.G., Baik, C.H., Lee, S.W., 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in plastic house. *Korean J. Pestic. Sci.* 9, 380-390.
- Cloyd, R.A., 2009. Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) management on ornamental crops grown in greenhouses: Have we reached an impasse?. *Pest. Technol.* 3, 1-9.
- Cockfield, S.D., Beers, E.H., Zack, R.S., 2007. Phenology of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on plant species in and near apple orchards in Washington State. *J. Entomol. Soc. B. C.* 104, 35-44.
- Dağlı, F., Tunç, I., 2007. Insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) collected from horticulture and cotton in Turkey. *Aust. J. Entomol.* 46, 320-324.
- 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, P.J., Bielza, P., Contreras, J., Lacasa, A., 2002b. Insecticide resistance in field populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Murcia (south-east Spain). *Pest. Manag. Sci.* 58, 967-971.
- Espinosa, P.J., Bielza, P., Contreras, J., Lacasa, A., 2002a. Field and laboratory selection of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) for resistance to insecticides. *Pest. Manag. Sci.* 58, 920-927.
- Funderburk, J., 2009. Management of the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in fruiting vegetables. *Fla. Entomol.* 92(1), 1-6.
- Gao, Y., Lei, Z., Reitz, S.R., 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest. Manag. Sci.* 68, 1111-1121.
- Gholami, Z., Sadeghi, A., 2016. Management strategies for western flower thrips in vegetable greenhouses in Iran: A review. *Plant Prot. Sci.* 52(2).
- Gholami, Z., Sadeghi, A., Garjan, A.S., 2015. Assessing the role of exposure time of chemical and botanical insecticides on the mortality and knockdown effect of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* Pergande. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 4(1), 678-684.
- Herron, G.A., James, T.M., 2005. Monitoring insecticide resistance in Australian *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) detects fipronil and spinosad resistance. *Aust. J. Entomol.* 44, 299-303.
- Herron, G.A., James, T.M., 2007. Insecticide resistance in Australian populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Gen. Appl. Entomol.: J. Entomol. Society of NSW.* 36, 1.
- Immaraju, J.A., Paine, T.D., Bethke, J.A., Robb, K.L., Newman, J.P., 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses. *J. Econ. Entomol.* 85, 9-14.
- Jensen, S.E., 2000. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Integ. Pest Manag. Rev.* 5, 131-146.
- Kay, I.R., Herron, G.A., 2010. Evaluation of existing and new insecticides including spirotetramat and pyridalyl to control *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peppers in Queensland. *Aust. J. Entomol.* 49, 175-181.
- Kim, J.W., Kim, S.J., Lee, S.Y., Lee, D.H., Do, Y.S., Kim, M.S., 2018. Seasonal occurrence and insecticide susceptibility by thrips on apple orchards in Gyeongbuk area. *Korean J. Pestic. Sci.* 22(1), 1-7.
- Kirk, W.D., Terry, L.I., 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agric. For. Entomol.* 5(4), 301-310.
- Lacasa, A., Llorens, J.M., 1996. *Trips y su control biológico (I)*. Ed. Pisa Ediciones. Alicante, 218 pp.
- Lee, Y.S., Lee, H.J., Hong, S.S., Kang, C.S., 2017. Insecticidal susceptibility of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) of horticultural crops in Gyeonggi area. *Korean J. Appl. Entomol.* 56, 179-186.
- Li, D.G., Shang, X.Y., Reitz, S., Nauen, R., Lei, Z.R., Lee, S.H., Gao, Y.L., 2016. Field resistance to spinosad in western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Integr. Agric.* 15, 2803-2808.
- Ludwig, S.W., Oetting, R.D., 2001. Evaluation of medium

- treatments for management of *Frankliniella occidentalis* (Thripidae: Thysanoptera) and *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae). *Pest Manag. Sci.* 57(12), 1114-1118.
- Malipatil, M.B., Postle, A.C., Osmelak, J.A., Hill, M., Moran, J., 1993. First record of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Australia (Thysanoptera: Thripidae). *Aust. J. Entomol.* 32, 378-378.
- Morishita, M., 2001. Toxicity of some insecticides to larvae of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) evaluated by the petri dish-spraying tower method. *Appl. Entomol. Zool.* 36, 137-141.
- Pappu, H.R., Jones, R.A., Cand Jain, R.K., 2009. Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. *Virus Res.* 141, 219-236.
- Park, H.H., Lee, J.H., Uhm, K.B., 2007. Economic thresholds of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) for unripe red pepper in greenhouse. *J. Asia Pac. Entomol.* 10, 45-53.
- Reitz, S.R., Gao, Y.L., Lei, Z.R., 2011. Thrips: pests of concern to China and the United States. *Agric. Sci. China* 10, 867-892.
- Reitz, S.R., Funderburk, J., 2012. Management strategies for western flower thrips and the role of insecticides, in: Perveen, F. (Ed.), *Insecticides-Pest Engineering*. InTech, Croatia, pp. 355-384.
- Robb, K.L., Newman, J., Virzi, J.K., Parrella, P., 1995. Insecticide resistance in western flower thrips, in: Parker, B.L., Skinner, M., Lewis, T. (Eds.), *Thrips biology and management*. Plenum Press, New York, pp. 341-346.
- Saeed, W., Saleem, M.A., Ahmad, M., 2012. Toxicity of some commonly used synthetic insecticides against *Spodoptera exigua* (Fab) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pakistan J. Zool.* 44(5), 1197-1201.
- Shan, C., Ma, S., Wang, M., Gao, G., 2012. Evaluation of insecticides against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), in the laboratory. *Fla. Entomol.* 95(2), 454-460.
- Srivastava, M., Bosco, L., Funderburk, J., Olson, S., Weiss, A., 2008. Spinetoram is compatible with the key natural enemy of *Frankliniella* species thrips in pepper. Online. *Plant Health Prog.* doi: 10.1094/PHP-2008-0118-02-RS.
- Teulon, D.A.J., Nielsen, M.C., 2005. Distribution of western (glasshouse strain) and *Intonsa* flower thrips in New Zealand. *N. Z. Plant Prot.* 58, 208-212.
- Van Leeuwen, T., Dermauw, W., Van De Veire, Tirry, L., 2005. Systemic use of spinosad to control the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on tomatoes grown in rockwool. *Exp. Appl. Acarol.* 37(1-2), 93-105.
- Wang, Z.H., Hou, W.J., Hao, C.Y., Wu, Q.J., Xu, B.Y., Zhang, Y.J., 2011. Monitoring the insecticide resistance of field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, in the Beijing area (in Chinese). *Chin. Bull. Entomol.* 48, 542-547.
- 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.
- Weiss, A., Dripps, J.E., Funderburk, J., 2009. Assessment of implementation and sustainability of integrated pest management programs. *Fla. Entomol.* 92, 24-28.
- Woo, K.S., Ahn, S.B., Lee, S.H., Kwon, H.M., 1994. First record of *Frankliniella occidentalis* and its distribution and host plants in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 33, 127.
- Woo, K.S., Paik, W.H., 1971. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea (I). *Kor. J. Plant Prot.* 10, 69-73.
- Yasudomi, N., Miyata, T., Murai, K., Umetsu, N., 1990. Use of benfuracarb in the integrated management of diamondback moth. In diamondback moth and other crucifers pests: proceedings of the second international workshop, Tainan, Taiwan, pp. 10-14.
- Yu, J.S., Kim, J.I., Kim, G.H., 2002. Insecticide susceptibilities of rose field-collected populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 6, 80-86.
- Zhang, P.J., Zhu, X.Y., Lu, Y.B., 2011. Behavioural and chemical evidence of a male-produced aggregation pheromone in the flower thrips *Frankliniella intonsa*. *Physiol. Entomol.* 36, 317-320.
- Zhang, S.Y., Kono, S., Murai, T., Miyata, T., 2008. Mechanisms of resistance to spinosad in the western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Insect Sci.* 15, 125-132.
- Zhang, Y., Wu, Q., Xu, B., Zhu, G., 2003. The occurrence and damage of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae): a dangerous alien invasive pest in Beijing. *Plant Prot.* 29, 58-59.
- Zhao, G., Liu, W., Brown, J.M., Knowles, C.O., 1995. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 88, 1164-1170.
- 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.