

경기지역 원예작물 꽃노랑총채벌레 약제 감수성

이영수* · 이희아 · 이현주 · 홍순성 · 강창성 · 최용석¹ · 김형환² · 장명준³

경기도농업기술원 환경농업연구과, ¹충남농업기술원 농업환경연구과, ²국립원예특작과학원 원예특작환경과, ³국립공주대학교

Insecticide Susceptibility of Western Flower Thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on Horticultural Crops in Gyeonggi Area

Young-Su Lee*, Hee-A Lee, Hyun-Ju Lee, Soon-Sung Hong, Chang-Sung Kang, Yong-Seok Choi¹, Hyeong-Hwan Kim² and Myoung-Jun Jang³

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

¹Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea

²National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Kongju National Univ. Yesan 32439, Korea

ABSTRACT: This study was conducted to monitor the insecticidal susceptibility of western flower thrip, *Frankliniella occidentalis*, which damage horticultural crops in the Gyeonggi area. Bioassays were conducted under laboratory and greenhouse conditions by using the recommended concentrations of commercial insecticides being used for the control of thrips.

Neonicotinoid insecticides, especially acetamiprid (8%) soluble powder (SP), clothianidin (8%) SC, imidacloprid (10%) wettable powder (WP) and thiacloprid (10%) water dispersible granule (WG) were not toxic to *F. occidentalis* collected from horticultural crops. However, *F. occidentalis* collected from vegetable greenhouses was extremely susceptible to acetamiprid + spinetoram (6 + 4%) suspension concentration (SC), clothianidin + spinetoram (6 + 4%) SC and methoxyfenozide + spinetoram (6 + 4%) SC, which resulted in over 90% control of thrips. In the greenhouse test, spinetoram (5%) WG, which caused 100% *F. occidentalis* mortality in the laboratory test, showed 87.4, 88.0, and 98.3% control at 3, 6, and 9 days after treatment, respectively, while imidacloprid (10%) WP showed below 44% control.

From the results of this study, spinosin insecticides, such as more than over 4 and 10% of spinetoram and spinosad, and pyrrole insecticide, such as 5% chlorfenapyr, are recommended for the effective control of *F. occidentalis*.

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

초록: 경기지역 원예작물 시설재배지에 발생하는 꽃노랑총채벌레 (*Frankliniella occidentalis*)에 대한 약제 감수성을 검정한 결과는 다음과 같다. 재배작물과 관계없이 acetamiprid (8%) SP, clothianidin (8%) SC, imidacloprid (10%) WP, thiacloprid (10%) WG와 같은 네오니코티노이드계 약제에 대한 저항성이 두드러지게 나타났다. 과채류 재배지 채집 꽃노랑총채벌레에 대해 acetamiprid + spinetoram (6+4%) SC와 clothianidin + spinetoram (6+4%) SC, methoxyfenozide + spinetoram (6+4%) SC가 90% 이상의 살충활성을 보였다. 실내에서 꽃노랑총채벌레에 살충효과가 높았던 약제를 대상으로 채집지역과 대상작물을 동일하게 화성지역 오이 시설재배지에서 포장검정을 수행한 결과 spinetoram (5%) WG의 경우 약제 처리 3, 6, 9일 경과 후 방제효과는 87.4, 88.0, 98.3%로 높아지는 경향을 보인 반면 imidacloprid (10%) WP는 약제 처리 3, 6, 9일 경과 후 방제효과는 1.7, 24.1, 43.6%로 나타나 실내검정 결과와 유사한 경향을 보였다. 따라서 원예작물 꽃노랑총채벌레 방제를 위해서 살충제 선택의 폭이 좁은 가운데, 스피노신계와 피롤계 약제들이 타 계통의 약제에 비해 효과가 우수한 것으로 보이며, 구체적으로는 스피노신계의 spinetoram과 spinosad의 함량을 각각 4, 10% 이상 함유하거나 피롤계의 chlorfenapyr가 5% 이상 함유된 단제 또는 혼합제를 선택해야 할 것으로 보인다.

검색어: 꽃노랑총채벌레, 살충제 저항성, 방제, 경기

*Corresponding author: yslee75@gg.go.kr

Received February 3 2017; Revised March 19 2017

Accepted April 18 2017

총채벌레류는 대표적인 식식성(phytophagous) 곤충으로 세계적으로 다양한 원예작물에 피해를 주고 있는 주요 해충이다. 세계적으로는 5,000여종 이상의 총채벌레가 보고되어 있는데, 이중 87종이 작물에 피해를 주고 있는 것으로 알려져 있다 (Demirozer et al., 2012). 성충이나 유충이 꽃이나 과실, 잎들을 섭식하거나 산란하는 과정에서 식물의 생육은 물론 상처나 반점 등을 유발하여 상품성을 떨어뜨린다. 우리나라의 경우 1973년까지 24종의 총채벌레가 보고되다가 1990년에는 63종으로 지속적인 분류 연구가 되어 오고 있는데(Woo et al., 1991), 1960년대 이후 농업생태계에 다양한 작물의 유입과 작부체계의 전환, 특히 원예작물의 재배양식이 노지에서 향온, 향습, 고온조건의 시설로 바뀌면서 총채벌레의 피해가 증가하고 있다 (Woo, 1972).

꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)는 미국 서부지역이 원산지인 1970년대부터 원예작물의 국제교역이 활발해지면서 세계적으로 확산되고 있는 종이다(Demirozer et al., 2012, Minakuchi et al., 2013). 중국의 경우 2000년, 호주의 경우 1993년에 처음으로 침입한 것으로 보고되어 있으며(Li et al., 2016; Grant and Tanya, 2005), 국내에는 1993년 제주도에서 처음으로 발견된 이래 현재는 전국적으로 분포하고 있다(Park et al., 2007). 꽃노랑총채벌레의 경우 경제적 요망제 수준이 토마토의 경우 꽃 당 성충 한 마리이며, 고추나 가지, 오이, 딸기 등에서도 마찬가지로 낮은 밀도에서 방제가 이루어져야 하는 주요 해충이다(Park et al., 2007). 총채벌레는 먹이 섭식과정에서 많은 종들이 식물 바이러스를 매개하면서 2차적인 피해를 주는 것으로 알려져 있는데, 특히 꽃노랑총채벌레는 INSV (impatiens necrosis spot virus), CSNV (chrysanthemum stem necrosis virus), TSWV (tomato spotted wilt virus)와 같은 식물바이러스의 주요 매개 종으로 알려져 있다(Barker, 2002; Boonham et al., 2002; Demirozer et al., 2012). 이 중 TSWV는 작물뿐만 아니라 잡초 등 900여종 이상의 식물에 감염이 확인되어 있는데 감염된 식물체에서 총채벌레류의 증식은 더욱 활발해질 뿐만 아니라 성충은 대물림을 통해 지속적으로 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 있다. 또한 총채벌레는 TSWV에 감염된 식물체에 더 유인되는 것으로 알려져 있어 작물 재배지에서 꽃노랑총채벌레는 주요 해충으로 인식되고 있다(Demirozer et al., 2012).

세계적으로 꽃노랑총채벌레를 방제하기 위해 다양한 방법들이 이용되고 있으나, 우리나라의 경우 화학적 방제가 일반적이다. 그러나 장기간 화학적 방제에 의존하게 되면서 많은 부작용들이 세계적으로 발생하고 있다. 가장 큰 부작용은 약제 저항성 개체의 출현을 들 수 있다. 살충제에 대한 꽃노랑총채벌레의

저항성은 1961년에 처음으로 보고된 이래 세계적으로 많은 사례가 발표되고 있다(Gao et al., 2012; Jensen, 2000). 유기인계나 카바메이트계, 피레스로이드계를 포함한 많은 종류의 화학농약에 대한 꽃노랑총채벌레의 단일 또는 교차, 복합 저항성이 지속적으로 보고되고 있다. 꽃노랑총채벌레 방제용 살충제의 첫 교차저항성 보고는 카바메이트계인 methiocarb 저항성 개체가 유기인계인 acephate와 dichlorvos에 고도의 저항성을 보였던 사례이다(Brødsgaard, 1994). Gao et al. (2012)에 의하면 국내에서 총채벌레류와 가루이류, 나방류 방제약제로 이용되고 있는 스피노신계 spinosad의 경우 1998년 일본에서 14배, 2003년 스페인에서 13,500배 이상, 2006년 중국에서 80.8배의 고도저항성이 보고되기도 하였다. 국내에서는 Yu et al. (2002)이 지역별 장미 재배지에서 채집된 꽃노랑총채벌레에 대한 살충제 감수성 조사에서 고양과 김해 집단이 chlorfenapyr와 phenthoate의 LC₅₀값이 현저히 높았음을 보고한 것이 첫 보고이다. 이어 Choi et al. (2005)이 시설재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레의 약제저항성 모니터링 결과 네오니코티노이드계통인 imidacloprid와 thiamethoxam의 저항성을 보고하기도 하였다.

꽃노랑총채벌레는 한번 획득한 약제 저항성이 해당 약제에 장기간 노출되지 않아도 상당기간 지속되는 특성이 있고, 또한 병리학적 관점에서 총채벌레가 식물 바이러스를 매개하는 시간은 매우 짧아 상대적으로 효과가 낮은 약제로는 총채벌레 방제는 물론 식물 바이러스병을 억제하는데 큰 효과를 기대하기 어렵다(Demirozer et al., 2012). 이를 극복하기 위해 효과가 우수한 농자재의 선별과 개발 등 꽃노랑총채벌레를 방제하기 위한 대안 마련이 시급한 상황이다. 따라서 본 연구는 경기지역 원예작물 재배지에 발생하는 꽃노랑총채벌레에 대한 약제 감수성 검정을 통하여 종합적 방제 계획 수립 자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험곤충

시험곤충인 꽃노랑총채벌레는 2015년부터 2016년까지 경기지역 주요 원예작물 재배지 11지점에서 채집된 집단을 사육실 조건에서 사육하면서 이용하였으며, 채집지역과 작물, 피해도, 주요 발생 종은 Table 1과 같다. 작물에 대한 총채벌레의 피해도가 적었던 연천, 이천 등에서 채집한 총채벌레류는 종 분류만 실시하였으며, 지역별 꽃노랑총채벌레 집단은 다른 지역 집단과의 격리 등을 고려하여 바로 생물검정이 이루어질 수 있도록 2,000~3,000마리의 개체수를 확보하였고, 파라필름으로 밀

Table 1. Occurrence area, host plants and species of thrips in horticultural crop greenhouse

Area	Host plant	Degree of severity ^a	Collection	Species		
				<i>F. occidentalis</i>	<i>F. intonsa</i>	<i>T. palmi</i>
Go-yang	Chrysanthemum	***	○	○	○	-
An-seong	Cucumber	****	○	○	○	-
Yeo-ju	Egg plant	***	○	○	○	-
Yeon-cheon	Chrysanthemum	*	-	○	-	-
Su-won	Cucumber	***	○	○	-	-
Yong-in	Chrysanthemum	***	-	○	○	-
I-cheon	Chrysanthemum	*	-	○	-	-
Pyeong-teak	Chrysanthemum	**	○	○	○	-
Hwa-sung	Chrysanthemum	****	○	○	○	-
Hwa-sung	Cucumber	***	○	○	-	-
Hwa-sung	Rose	***	○	○	○	○

^a*: very rare; **: rare; ***: common; ****: Severe; *****: very severe.

봉된 곤충사육케이지(30×30×30 cm)에 유지하면서 채집 후 24 시간 이내에 시험에 이용하였다. 저항성 수준의 비교를 위해 상대적 감수성인 꽃노랑총채벌레 계통을 2015년 농촌진흥청 농산물안전성부 작물보호과 곤충사육실에 분양 받은 개체를 이용하였다. 지역별 채집 또는 감수성 꽃노랑총채벌레 집단의 실내유지를 위해 3-4일 동안 물에 불린 강낭콩 종자의 떡잎을 떼어 물에 젖은 여과지가 깔린 insect breeding dish (50×15 mm, SPL 310050[®])위에 올려 먹이로 제공하였으며, 사육실 조건은 온도 25 ± 1℃, 습도 50~60%, 광주기 16L:8D로 유지하였다.

시험약제

시험에 사용된 살충제는 총채벌레 방제를 위해 최근 시판되고 있는 제품으로 단제 12종, 합제 8종을 사용하였다(KCPA, 2015).

살충활성 실내검정

꽃노랑총채벌레의 약제 감수성 검정은 잎 침지법을 이용하였다. 각 살충제를 추천 희석배수로 희석한 후 미리 잘라 놓은 오이 잎 절편을 30초간 침지, 1시간 음건하였다. Insect breeding dish (50×15 mm, SPL 310050[®])에 원형 탈지면을 깔고 증류수로 충분히 적신 후 음건된 잎 절편을 넣고 꽃노랑총채벌레 성충을 15~20마리씩 부드러운 붓을 이용해 접종한 후 파라필름으로 wrapping하였다. 접종 24시간 후 사충수를 조사하였는데, 붓으로 건드렸을 때 몸길이만큼 움직이지 못하는 것을 사망한

것으로 판단하였다. 모든 시험은 3반복으로 수행하였다. 사충률(%)은 사충수를 총마리수로 나눈 후 곱하기 100을 하였고, 동일한 방법으로 무처리(0%)의 사충률(%)을 구한 후 처리구 사충률에서 무처리구 사충률을 빼어 보정 사충률을 구하였다. 보정 사충률이 음의 값을 가질 때는 0으로 표기하였다.

방제효과 포장검정

실내검정에서 꽃노랑총채벌레 살충활성이 우수했던 약제 (spinetoram 5% WG) 에 대한 포장검정은 관행약제(imidacloprid 10% WP)와 함께 경기도 화성시에 소재한 이중 비닐하우스 (175 m²)에서 수행하였다. 오이(백다다기)는 꽃노랑총채벌레 자연발생을 고려하여 비닐멀칭을 하지 않았으며, 넓이 100 cm의 두둑을 만들고 재식거리 45 cm로 2016년 4월 6일 정식하였다. 처리약제는 꽃노랑총채벌레의 밀도가 반복당 50마리를 초과하는 6월 7일 살포하였는데, 실내검정에서와 같이 추천농도로 희석하여 약액이 충분히 흐르도록 살포하였다. 약제처리 3, 6, 9일 후에 반복당 5주를 대상으로 총 15주에 발생한 꽃노랑총채벌레 생충수를 조사하였으며, 포장배치는 난괴법 3반복으로 하였다.

결과 및 고찰

시판되고 있는 단제 12종의 살충제들을 추천농도로 처리했을 경우 경기지역 원예작물 재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레 성충의 사충률은 Table 2-1, 2-2와 같다. 전반적으로 과채류

Table 2-1. Susceptibilities of *Frankliniella occidentalis* adult populations collected from vegetable fields to 12 single formulation insecticides

Insecticide	% mortality (mean ± SD) / population				
	An-seong (Cu ^a)	Hwa-seong (Cu)	Su-won (Cu)	Yeo-ju (E ^b)	S-strain
Antibiotics					
Emamectin benzoate (2.15) EC	59.8 ± 13.3	63.5 ± 20.9	96.7 ± 0.0	100	100
Diamides					
Cyantraniliprole (10.26) OD	15.0 ± 13.2	5.8 ± 5.0	36.7 ± 26.5	21.6 ± 17.0	49.6 ± 19.4
Neonicotinoids					
Acetamiprid (8) SP	14.1 ± 7.4	24.8 ± 17.3	57.9 ± 10.2	43.5 ± 10.4	84.1 ± 16.7
Clothianidin (8) SC	11.1 ± 19.2	20.6 ± 12.5	36.7 ± 10.0	70.6 ± 4.2	90.4 ± 7.0
Imidacloprid (10) WP	31.7 ± 16.1	41.1 ± 25.0	49.4 ± 29.9	26.3 ± 15.9	52.8 ± 4.8
Thiacloprid (10) WG	33.8 ± 15.9	23.7 ± 19.2	85.0 ± 12.6	53.7 ± 3.2	94.1 ± 6.3
Niacins					
Flonicamid (10) WG	6.7 ± 5.8	3.3 ± 5.8	30.0 ± 20.8	46.3 ± 11.6	47.3 ± 8.8
Spinosins					
Spinetoram (5) WG	97.4 ± 4.4	100	96.7 ± 0.0	100	100
Spinetoram (5) SC	97.2 ± 4.8	89.6 ± 2.5	96.7 ± 0.0	80.7 ± 5.4	100
Spinosad (10) WG	100	92.6 ± 12.8	87.0 ± 10.0	100	100
Spinosad (10) SC	68.3 ± 48.5	100	93.3 ± 5.8	100	100
Pyrroles					
Chlorfenapyr (5) EC	97.6 ± 4.1	96.7 ± 5.8	90.0 ± 11.5	100	100

^aCu; Cucumber, ^bE; Egg plant.

Table 2-2. Susceptibilities of *Frankliniella occidentalis* adult populations collected from flower plant fields to 12 single formulation insecticides

Insecticide	% mortality (mean ± SD) / population				
	Go-yang (Ch ^a)	Hwa-seong (Ch)	Hwa-seong R ^b	Pyeong-teak (Ch)	S-strain
Antibiotics					
Emamectin benzoate (2.15) EC	84.4 ± 7.4	4.8 ± 4.2	47.6 ± 15.3	56.4 ± 14.3	100
Diamides					
Cyantraniliprole (10.26) OD	12.7 ± 3.8	8.4 ± 7.3	9.1 ± 11.7	57.6 ± 16.5	49.6 ± 19.4
Neonicotinoids					
Acetamiprid (8) SP	11.2 ± 2.8	0	35.0 ± 13.7	37.3 ± 11.3	84.1 ± 16.7
Clothianidin (8) SC	7.8 ± 1.2	20.8 ± 19.4	52.5 ± 32.1	0	90.4 ± 7.0
Imidacloprid (10) WP	4.9 ± 4.3	5.4 ± 4.8	12.8 ± 12.5	17.0 ± 11.2	52.8 ± 4.8
Thiacloprid (10) WG	16.5 ± 6.7	4.9 ± 4.3	43.2 ± 10.8	20.8 ± 14.4	94.1 ± 6.3
Niacins					
Flonicamid (10) WG	12.6 ± 3.6	0	25.4 ± 22.5	18.5 ± 6.4	47.3 ± 8.8
Spinosins					
Spinetoram (5) WG	44.4 ± 9.6	26.9 ± 9.0	79.2 ± 7.7	88.4 ± 10.1	100
Spinetoram (5) SC	83.2 ± 14.7	56.8 ± 10.7	57.3 ± 21.5	60.5 ± 18.0	100
Spinosad (10) WG	63.5 ± 15.3	40.9 ± 13.3	62.4 ± 7.7	46.7 ± 9.2	100
Spinosad (10) SC	55.9 ± 10.6	54.4 ± 20.4	59.9 ± 30.4	59.1 ± 18.1	100
Pyrroles					
Chlorfenapyr (5) EC	80.2 ± 17.2	53.7 ± 20.0	96.7 ± 5.8	81.1 ± 9.3	100

^aCh; Chrysanthemum, ^bR; Rose.

재배지 대비 화훼류 재배지 꽃노랑총채벌레 집단의 살충제 감수성이 낮은 것으로 나타났다. 같은 화성지역에서도 작목의 종류에 따라 살충제 감수성이 다르게 나타났는데, 오이에서 채집한 집단에 대해 spinetram 5% WG와 spinosad 10% WG, spinosad 10% SC, chlorfenapyr 5% EC는 추천농도에서 90% 이상의 살충활성을 보인 반면, 국화에서 채집한 집단에 대해서는 90% 이상의 살충활성을 보인 약제가 없었고 다만 장미에서 채집한 집단에 대해 chlorfenapyr 5% EC 만이 96.7%의 살충활성을 보였다. 한편, 디아마이드계인 cyantraniliprole 10.26% OD와 니아신계인 flonicamid 10% WG는 감수성 계통에서도 50% 미만의 낮은 살충활성을 보였다.

본 연구에서 시험한 꽃노랑총채벌레 집단은 재배작물과 재배지역에 관계없이 네오니코티노이드계 약제에 대해 두드러지게 높은 저항성을 나타냈다. 유효성분별로는 acetamiprid 8% SP, clothianidin 8% SC, imidacloprid 10% WP, thiacloprid 10% WG의 평균 살충활성이 40% 미만인 각각 28.0, 27.5, 23.6, 35.2%로 매우 낮게 나타났다. 한편 스피노신계의 spinetoram과 spinosad 입상수화제와 액상수화제는 과채류 재배지 꽃노랑총채벌레 대하여, 피롤계의 chlorfenapyr 유제는 국화 재배지(고양, 화성, 평택) 꽃노랑총채벌레 집단을 제외하고 모두 90% 이상의 높은 살충활성을 보였다. 또한 살충활성이 높았던 스피노신계와 피롤계 약제의 경우 과채류 재배지 채집 꽃노랑총채벌레에 대한 살충률은 68.3~100%로 평균 93.7%로 높았던 반면 화훼류 재배지 채집 꽃노랑총채벌레에 대한 살충률은 40.9~88.4%로 평균 59.2%로 낮아 약제 살포시기가 제한적일 수밖에 없는 과채류 재배지 대비 상대적으로 약제 살포횟수와 살포량이 많은 화훼류 재배지에서는 스피노신계의 약제에 대해 이미 저항성 꽃노랑총채벌레가 출현한 것으로 생각된다. 총채벌레 방제를 위해 이용되고 있는 약제들 중 살충범위가 넓은 유기인계, 카바메이트계, 네오니코티노이드계, 피레스로이드계 약제들에 대한 저항성은 세계적으로 보고되고 있으며 (Gholami and Sadeghi, 2016; Gao et al., 2012; Bielza et al., 2007; Choi et al., 2005; Yu et al., 2002; Jensen, 2000; Brødsgaard, 1994), 본 연구 결과에서도 같은 경향을 나타내고 있다. 이러한 약제들에 대한 낮은 방제효과도 문제지만 저항성 획득과정에서 생태적으로 우위에 있는 개체들이 출현할 가능성이 있다. 실제로 피레스로이드계 약제 중 하나인 acrinathrin에 저항성을 획득한 꽃노랑총채벌레 계통의 경우 감수성 계통에 비해 번식력과 발육, 수명이 증가했다는 보고가 있으며 (Bielza et al., 2007), Choi et al. (2001)은 살충제 저항성 해충의 경우 해독효소와 대사작용의 활성화로 배설이 촉진되어 결국 약제의 체내 잔류량이 감소할 수 있다고 보고 하기도 하였다.

이렇듯 약제들의 감수성 저하는 살포횟수의 증가로 인한 환경오염과 더불어 천적의 밀도유지에도 큰 위협이 될 것이다.

시판되고 있는 합제 8종의 살충제들을 추천농도로 처리했을 경우 경기지역 과채류와 화훼류 시설재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레 성충의 사충률은 각각 Table 3-1, 3-2와 같다. 과채류 재배지 꽃노랑총채벌레에 대해 90% 이상의 살충활성을 보인 약제는 acetamiprid+spinetoram 액상수화제와 clothianidin+spinetoram 액상수화제, methoxyfenozide+spinetoram 액상수화제였다. 반면 화훼류 재배지 채집 개체군의 경우 화성 장미재배지의 경우에 한하여 methoxyfenozide+spinetoram 액상수화제만이 91.2%의 살충활성을 보였다. 이를 종합해 볼 때 원예작물 꽃노랑총채벌레 방제를 위한 살충제 선택의 폭이 좁다고 판단되는 가운데, 현재까지는 스피노신계와 피롤계의 성분들이 타 계통의 성분보다 비해 효과가 우수한 것으로 보인다. 즉, 과채류 시설재배지에서 꽃노랑총채벌레의 효율적 방제를 위해서는 스피노신계의 spinetoram과 spinosad의 함량이 각각 4, 10% 이상 함유되었거나 피롤계의 chlorfenapyr가 5% 함유된 단제나 혼합제를 선택해야 할 것으로 보인다. 반면 약제 살포횟수와 살포량이 많은 화훼 재배지에서는 벤조일하이드라자이드계인 methoxyfenozide와 스피노신계인 spinetoram이 혼합된 약제처럼 약효가 우수한 약제들이 혼합된 새로운 약제의 개발과 도입이 필요할 것으로 생각된다.

우리나라에서 꽃노랑총채벌레에 대한 약제 저항성은 처음으로 유입된 1993년 이후부터 발생했다고 보기 보다는 이미 저항성을 획득한 개체들이 국내에 유입되어 왔을 가능성이 높다. 그 예로 우리나라와 같이 1993년에 꽃노랑총채벌레가 처음으로 유입된 호주에서 1996년에 카바메이트계, 유기인계, 피레스로이드계 약제에 높은 수준의 저항성 개체가 발견된 사례가 있기 때문이다(Herron et al., 1996). Gao et al. (2012)은 세계적으로 꽃노랑총채벌레의 살충제 저항성에 관해 기 보고된 보고서를 종합하여 비교한 바 있는데, 꽃노랑총채벌레가 우리나라에 첫 발견된 1993년 이전의 내용을 보면 1992년 미국 산디에고 지역 개체군의 경우 피레스로이드계인 permethrin과 카바메이트계인 methomyl, 항생제계열인 abamectin의 저항성 비가 각각 1182~1217, 43~102, 20~240으로 매우 높았음을 알 수 있다.

꽃노랑총채벌레의 약제 저항성에 관여하는 기작들로는 카바메이트계(bendiocarb, methiocarb)와 피레스로이드계(acrinathrin, fenvalerate, permethrin), 네오니코티노이드계(acetamiprid) 약제의 경우 대부분 cytochrome P-450 monooxygenase가 관여하는 것으로 밝혀진 가운데 이 외에도 카바메이트계(methiocarb)의 경우 esterase, 스피노신계의 경우 nicotinic acetylcholine receptor (nAChR)가 관여하는 것으로 보고되고 있다(Demirozer

Table 3-1. Susceptibilities of *Frankliniella occidentalis* adult populations collected from vegetable fields to eight mixture formulation insecticides

Insecticide	% mortality (mean ± SD) / population				
	An-seong (Cu ^a)	Hwa-seong (Cu)	Su-won (Cu)	Yeo-ju (E ^b)	S-strain
Mixtures					
Abamectin (1.7) + chlorantraniliprole (4.3) SC	15.5 ± 18.0	5.6 ± 9.6	20.0 ± 15.3	51.4 ± 14.6	35.2 ± 10.5
Acetamiprid (4) + indoxacarb (5) WP	32.6 ± 9.2	14.4 ± 20.2	36.7 ± 10.0	20.5 ± 5.6	98.2 ± 3.0
Acetamiprid (6) + spinetoram (4) SC	96.7 ± 5.8	100	90.0 ± 5.8	100	100
Bifenthrin (2) + imidacloprid (8) WP	39.1 ± 16.4	20.1 ± 7.3	55.2 ± 2.6	82.1 ± 8.3	100
Buprofezin (20) + thiamethoxam (3.3) SC	28.5 ± 17.8	24.6 ± 10.3	50.0 ± 5.8	71.5 ± 16.0	69.2 ± 15.9
Clothianidin (6) + spinetoram (4) SC	100	93.3 ± 11.5	93.9 ± 4.8	96.6 ± 6.4	100
Dinotefuran (8) + spinetoram (2) SC	26.2 ± 6.2	12.4 ± 5.0	36.7 ± 17.3	69.0 ± 18.0	94.4 ± 5.3
Methoxyfenozide (6)+spinetoram (4%) SC	100	91.7 ± 14.4	96.7 ± 0.0	100	100

^aCu; Cucumber, ^bE; Egg plant.

Table 3-2. Susceptibilities of *Frankliniella occidentalis* adult populations collected from flower plant fields to eight mixture formulation insecticides

Insecticide	% mortality (mean ± SD) / population				
	Go-yang (Ch ^a)	Hwa-seong (Ch)	Hwa-seong R ^b	Pyeong-teak (Ch)	S-strain
Mixtures					
Abamectin (1.7) + chlorantraniliprole (4.3) SC	46.4 ± 12.2	5.8 ± 5.0	46.3 ± 21.7	32.1 ± 15.5	35.2 ± 10.5
Acetamiprid (4) + indoxacarb (5) WP	24.2 ± 6.5	14.0 ± 7.2	27.5 ± 14.2	59.4 ± 3.5	98.2 ± 3.0
Acetamiprid (6) + spinetoram (4) SC	54.1 ± 13.4	65.9 ± 21.7	79.1 ± 18.2	69.1 ± 7.0	100
Bifenthrin (2) + imidacloprid (8) WP	11.2 ± 6.1	29.5 ± 6.0	21.1 ± 11.7	83.8 ± 19.3	100
Buprofezin (20) + thiamethoxam (3.3) SC	14.2 ± 5.2	56.4 ± 11.1	29.7 ± 10.8	46.7 ± 11.5	69.2 ± 15.9
Clothianidin (6) + spinetoram (4) SC	60.0 ± 17.3	60.5 ± 18.7	63.1 ± 3.4	85.1 ± 4.4	100
Dinotefuran (8) + spinetoram (2) SC	32.4 ± 8.8	6.1 ± 5.4	49.2 ± 10.1	31.9 ± 14.6	94.4 ± 5.3
Methoxyfenozide (6) + spinetoram (4%) SC	39.9 ± 8.9	91.2 ± 9.1	100	56.8 ± 25.4	100

^aCh; Chrysanthemum, ^bR; Rose.

et al., 2012, Minakuchi et al., 2013). 최근 이 부분에 관한 분자 생물학적 연구가 진행되고는 있으나 아직 밝히지 못한 부분에 대한 지속적인 연구가 필요하며, 앞으로 진행될 것으로 보인다.

Gholami and Sadeghi (2016)는 리뷰논문을 통해 서로 작용 기작이 다른 약제 7종(spinosad, lufenuron, pyridalyl, abamectin, thiamethoxam, dichlorvos, oxymatrine)을 조합하여 교호살포 모델을 제시하기도 하였다. 하지만 꽃노랑총채벌레에 대해 감수성이 낮은 약제들이 다른 총채벌레류 방제에 활용되기 어렵다고 단정할 수 없다. 대상해충과 대상작물, 재배양식, 제형 등 약제특성에 따라 살충효과가 달라질 수 있기 때문이다. 한 예로 미국 플로리다 북부지역의 경우 spinosad를 이용한 토마토와 고추 재배지의 *Frankliniella tritici* (Fitch)의 방제는 어려운 반면 꽃노랑총채벌레에 대해서는 높은 방제효과를 보였다는 보

고가 있다(Gao et al., 2012). 따라서 대상해충의 약제 감수성을 모니터링하기 위해서는 대상작물과 재배양식에 대한 고려가 필요하다.

실내에서 꽃노랑총채벌레에 살충효과가 높았던 약제를 대상으로 채집지역과 대상작물이 동일한 화성지역 오이 시설재배지에서 포장검정을 수행한 결과는 Fig. 1과 같다. 실내검정시 100%의 살충률을 보였던 spinetoram 5% WG와 저항성을 보였던 imidacloprid 10% WP를 시험약제로 선정하였다. 시험결과 spinetoram 5% WG는 약제 처리 3, 6, 9일 경과 후 87.4, 88.0, 98.3%의 높은 방제효과를 보인 반면 imidacloprid 10% WP는 약제 처리 3, 6, 9일 경과 후 1.7, 24.1, 43.6%의 방제효과를 나타내 실내검정 결과와 유사한 경향을 보였다. 시험약제 중 살충력이 우수한 몇몇 살충제를 이용한 농가별 해충방제는 저항성

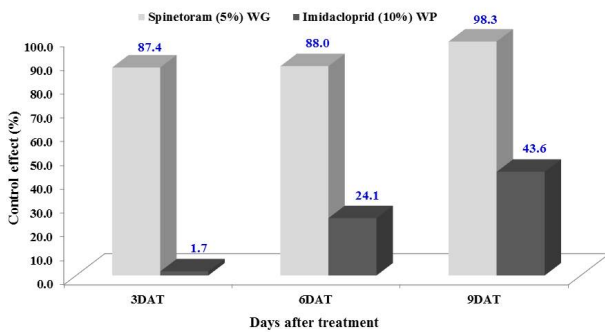


Fig. 1. Control effects of two insecticides on the western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* in a cucumber greenhouse.

관리 측면에서는 바람직할 수 있지만, 꽃노랑총채벌레에 대해 약제 감수성에 낮았던 기존의 살충제가 진딧물류나 가루이류 등의 방제를 위해 여전히 이용되고 있기 때문에 교호살포를 권장한다 하더라도 기존 약제의 이용을 완전히 배제하기는 어렵다(Chung and Son, 2001). 다만, 위험수준을 초과하는 해충이 돌발적으로 출현했을 때 긴급하고 효율적으로 관리할 수 있는 대체약제의 선발이라는 측면에서 바람직하다고 볼 수 있다.

총채벌레의 약제 저항성을 극복하기 위한 전략을 개발하기 위해 많은 대안들이 제시되고 있다. Chung and Park (2009)은 해충의 살충제 저항성 발달의 효율적 관리 방안으로 약제의 작용점과 작용방식(mode of action)에 근거한 약종의 선택과 혼용, 교호살포, 모자이크 처리 등의 약제살포법과 천적을 고려한 선택성 살충제와 저항성 천적의 이용의 이용 등 다각적으로 고려해야 함을 강조한 바 있다.

천적을 이용한 생물적 방제는 약제저항성 개체를 방제할 수 있는 종합적 해충관리의 기본이라 할 수 있다. 천적을 유인하거나 서식처를 제공할 수 있으며, 해충을 유인 또는 기피시킬 수 있는 동반식물(companion plant)을 같이 이용하기도 하는데, 이 방법은 곤충과 식물간의 상호작용을 이용한 push-pull 전략으로써 천적을 단독으로 이용하는 것 보다 효과를 더 높일 수 있다는 면에서 주목을 받고 있다. 미국 플로리다에서 총채벌레 방제를 위해 천적들에 대해 유인력이 있는 국화나 해바라기, 클로버, *Bidens alba*, *Wedelia trilobata* 등과 같은 식물들을 과채류 재배지에 혼식하는 것을 예로 들 수 있다(Buitenhuis et al., 2007; Choi et al., 2014). 그 외에 작물재배지의 양분관리, 총채벌레 저항성 작물의 재배, 자외선 반사필름 멀칭 등 다양한 방법들이 제시되고 있지만 해충의 종합적 관리 측면에서 화학적 방제를 배제하긴 어렵다. 효과가 우수한 약제의 선발 보다 중요한 것은 약제 저항성을 최소화하는 것이며, 이를 위해 약제 계통을 고려하여 교호적으로 이용할 수밖에 없다. 하지만 본 연구

결과를 통해 알 수 있듯이 효과가 우수한 계통은 그리 많지 않다. 대부분의 글로벌 기업들이 약제 저항성으로 인해 신약개발에 투자를 꺼려하고 있는 현실에서 화학적 방제에 대한 체계적인 대안제시가 절실한 시점이다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 장관·농림수산식품기술기획평가원의 지원(과제번호: 116089-03-1-SB010)에 의해 수행한 “해충과 천적의 유인/기피 작용을 융합한 고효율 천적보존식물 패키지상품 개발” 과제로 수행되었다.

Literature Cited

- Bielza, P., Espinosa, P.J., Quinto, V., Abellán, J., Contreras, J., 2007. Synergism studies with binary mixtures of pyrethroid, carbamate and organophosphate insecticides on *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest Management. Sci.* 63, 84-89.
- 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.
- Boonham, N., Smith, P., Walsh, K., Tame, K., Morris, J., Spence, N., Bennison, J., Barker, I., 2002. The detection of tomato spotted wilt virus (TSWV) in individual thrips using real time fluorescent RT-PCR (TaMan). *Journal of Virological Methods.* 101, 37-48.
- Buitenhuis, R., Les Shipp, J., Jandricic, S., Murphy, G., Short, M., 2007. Effectiveness of insecticide-treated and non-treated trap plants for the management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouse ornamentals. *Pest management science.* 63, 910-917.
- Choi, B.R., Lee, S.W. and Yoo, J.K., 2001. Resistance mechanisms of green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), to Imidacloprid. *Kor. J. Appl. Entomol.* 40, 265-271.
- Choi, B.R., Lee, S.W., Park, H.M, Yoo, J.K., Kim, S.G., Baik, C.H., 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in plastic house. *Kor. J. Pesticide Science.* 9, 380-390.
- Choi, Y.S., Whang, I.S., Park, D.G., Lee, J.S., Ham, E.H., Choe, K.R., 2014. Behavioral response of the western flower Thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to different chrysanthemum flower colors. *Kor. J. Appl. Entomol.* 53, 65-71.
- Chung, B.K., Son, K.A., 2001. Control system of whitefly, *Trialeuodes vaporariorum*, in cucumber by the alternate application of insecticides within each conventional group. *Kor. J. Appl. Entomol.* 40, 327-335.
- Chung, B.K., Park, C.G., 2009. Management of the development of insecticide resistance by sensible use of insecticide, operational

- methods. Kor. J. Appl. Entomol. 48, 123-158.
- 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 Management. Sci. 68, 1537-1545.
- 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 Protect. Sci. 52, 87-98.
- Grant, A.H., Tanya, M.J., 2005. Monitoring insecticide resistance in Australian *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) detects fipronil and spinosad resistance. Australian Journal of Entomology. 44, 299-303.
- Herron, G.A., Rophail, J., Gullick, G.C., 1996. Laboratory-based, insecticide efficacy studies on field-collected *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) and implications for its management in Australia. Australian Journal of Entomology. 35, 161-164.
- Jensen, S.E., 2000. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. Integrated Pest Management. Rev. 5, 131-146.
- KCPA., 2015. Agrochemicals Use Guide Book.
- Li, D.G., Shang X.Y., Stuart, R., Ralf, N., LEI Z.R., Lee, S.H., GAO, Y.L., 2016. Field resistance to spinosad in western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Integrative Agriculture. 15, 2803-2808.
- Minakuchi, C., Inano, Y., Shi, X., Song, D., Zhang, Y., Miura, K., Miyata, T., Gao, X., Tanaka, T., Sonoda, S., 2013. Neonicotinoid resistance and cDNA sequences of nicotinic acetylcholine receptor subunits of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Applied entomology and zoology. 48, 507-513.
- 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-Pacific Entomol. 10, 45-53.
- Woo, K.S., 1972. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea II. Kor. J. Appl. Entomol. 11, 45-54.
- Woo, K.S., Kwon, O.K., Cho, K.S., 1991. Studies on the distribution, host plants and taxonomy of Korean thrips (Insecta: Thysanoptera). Seoul Nat'l. Univ. J. Agric. Sci. 16, 133-148.
- Yu, J.S., Kim, J.I., Kim, G.H., 2002. Insecticide susceptibilities of rose field-collected population of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, in Korea. Kor. J. of Pesticide Science. 6, 80-86.