

〈Original article〉

오이총채벌레의 약제 저항성 진단을 위한 판별농도 기반 생물검정법 확립

전성욱 · 박부용 · 박세근 · 이상구 · 류현주 · 이상범 · 정인홍*

농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

Establishment of Discriminating Concentration based Assessment for Insecticide Resistance Monitoring of Palm thrips

Sung-Wook Jeon, Bueyong Park, Se-Keun Park, Sang-Ku Lee, Hyun-Ju Ryu,
Sang-Bum Lee and In-Hong Jeong*

Division of Crop Protection, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract - For our survey of insecticidal resistance of Palm thrips (*Thrips palmi* Karny), we established the discriminating time (DT) and concentration (DC) of nine insecticides, and we conducted a bioassay about seven local populations via leaf-dipping methods. The discriminating times of the recommended concentration (RC) were 24 h at emamectin benzoate EC and spinetoram SC, 48 h at chlorfenapyr EC, 72 h at spinosad SC, cyantraniliprole EC, acetamiprid WP, dinotefuran WG, imidacloprid WP and thiacloprid SC after treatment. The DC estimated the concentration which showed the difference within the mortalities of these local populations. The DCs were emamectin benzoate EC 0.013 mg L⁻¹ (RC, 10.8 mg L⁻¹), spinetoram SC 0.125 mg L⁻¹ (RC, 25.0 mg L⁻¹), chlorfenapyr EC 0.25 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹), spinosad SC 0.083 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹) and cyantraniliprole EC 5.0 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹), and DCs of neonicotinoids were their RCs, that is, acetamiprid WP (RC, 40.0 mg L⁻¹), dinotefuran WG (RC, 20.0 mg L⁻¹), imidacloprid WP (RC, 50.0 mg L⁻¹) and thiacloprid SC (RC, 50.0 mg L⁻¹). From our investigation into the resistance of the local populations with DT and DC application, the neonicotinoid insecticides have shown a high resistant level for all the local populations, and the other insecticides have demonstrated low or non-resistance. In the use of neonicotinoid insecticides to control Palm thrips, one must take caution. As a result, the establishment of DT and DC in the single dose bioassay method was helpful for surveying the insecticide response dynamics and the development of an insecticide resistance management strategy.

Keywords : *Thrips palmi* Karny, insecticide resistance dynamics, single dose bioassay, discriminating time

서 론

* Corresponding author: In-Hong Jeong, Tel. 063-238-3312,
Fax. 063-238-3838, E-mail. ihjeong1@korea.kr

총채벌레는 대표적인 식식성 (phytophagous) 곤충으로 세
계적으로는 5,000여 종 이상이 보고되어 있으며, 이 중 87종

이 작물에 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Pelikan 1998; Demirozer *et al.* 2012). 기주범위가 넓어서 고추, 오이, 토마토 등 50과 500여 종 이상의 작물의 꽃, 과실, 잎 등을 갇아 먹어 광합성 효율을 떨어뜨리고, 식물 및 과실의 생육을 저하시키는 직접적 피해뿐만 아니라(Rosenheim *et al.* 1990) 2차적인 피해로 섭식 과정에서 식물 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 있다(Boonham *et al.* 2002; Demirozer *et al.* 2012). 우리나라에서는 1960년대 이후 비닐하우스 등을 이용한 다양한 작물 재배 및 연작 재배로 총채벌레의 피해가 증가하고 있는 실정이며(Woo 1972), 특히 시설재배지에서 문제 되고 있는 대표적 해충으로는 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)와 오이총채벌레(*Thrips palmi*)가 있다.

총채벌레의 방제에 있어서 일부 농가에서 천적을 활용하기도 하나 대부분의 농가에서는 화학적 방제에 의존하고 있다(Denoyes *et al.* 1986). 총채벌레는 증식이 빠르고 살충제의 반복적 사용으로 약제저항성이 빠르게 발달하여 방제가 쉽지 않다(Morishita 1993; Choi *et al.* 2005). 특히 네오니코티노이드 계열의 살충제에 대해 약제저항성이 빠르게 발달되어 약제들 간 교차저항성으로 인해 사용 가능한 약제 수가 점점 줄어드는 실정이다(Choi *et al.* 2005; Lee *et al.* 2017). 약제저항성 문제는 방제효율을 저하시켜 작물 생산성을 감소시키고 농가에게 약제의 살포량과 살포 횟수를 늘리게 하여 결과적으로 저항성 발달을 더욱 가속시키는 악순환을 야기한다. 따라서 약제저항성의 발달 양상을 지속적으로 정확히 검정하여 약제를 선별하여 신속히 살포하는 기술 등이 저항성 관리 면에서 매우 중요하다.

해충의 약제 반응은 실내 생물검정법(bioassay)을 통해 평가한다. 평가의 접근 방법도 단일 판별약량 접근법(single discriminating dose approach), 약량 - 반응 접근법(dose-response approach), 2약량 접근법(two dose approach), 그리고 생화학적 마커를 활용하는 접근법(biochemical approach) 등이 활용되고 있다(Stanley 2014). 그러나 연구자마다 생물검정법과 결과의 판독 시기를 다양하게 설정하여 저항성 변화 양상의 연구 결과 분석이 쉽지 않다. 해충의 약제저항성 발달 동태를 추적하기 위해서는 동일한 검정방법이 사용되어야 한다. Brødsgaard(1994), Egar *et al.*(1998)과 Lee *et al.*(2017)은 엽침지법(leaf dipping method)을 활용한 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)의 실내 생물검정에서 살충력 조사 기간을 약제 처리 후 24시간을 적용하였고, Cho *et al.*(1999), You *et al.*(2002), Choi *et al.*(2005)은 48시간을 적용하였다.

본 연구는 국내 오이총채벌레의 방제 약제를 대상으로 엽침지법을 이용하여 실내 약제 효율의 정확한 판별 시간을

설정하고, 약제저항성 발달 정도를 파악하여 관리할 수 있는 판별 농도 개념을 제시함으로써 단일 약량도 기반의 생물검정법을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 곤충의 사육

시험에 사용된 오이총채벌레(*Thrips palmi*)의 채집지역과 채집 장소는 Table 1과 같다. 2016년 국내 시설하우스 재배지 7개 지역(안성, 논산, 장성, 횡성, 옥천, 김천, 창녕)에서 채집한 각 지역 계통별로 구분하여 국립농업과학원 곤충사육실(25±2°C, 60±5% RH, 16L:8D)에서 사육하였다. 사육 방법은 채집한 지역 계통을 현미경을 이용해 오이총채벌레 성충만을 선별하여 아크릴케이지(25×25×30 cm³)에 넣고, 오이(백다다기, (주)홍농종묘) 잎을 먹이로 공급하며 사육하였다. 오이 잎은 25~30°C의 유리온실에서 플라스틱 원형 포트(Φ8×7.5 cm²)에 원예용 상토(바로커, 서울바이오)를 채우고, 오이종자 2~3립을 파종하고 떡잎 출현 후 본잎 3~4장(직경 10 cm 이상)이 되면 3포트씩 사육케이지에 넣어 먹이로 공급하였다.

2. 시험약제

시험에 사용된 살충제는 총채벌레의 방제를 위해 시판 중인 약제로는 항생제 계열 1종, 디아마이드계 1종, 파이롤계 1종, 스피로디노제 2종 그리고 네오니코티노이드계 4종으로 총 9종이었고(Table 2), 각각의 약제는 시험 농도로 증류수에 희석하여 사용되었다.

3. 생물검정

오이총채벌레의 생물검정은 엽침지법(leaf dipping method)을 이용하였다(Lee *et al.* 2017). 실험 방법은 직경 3.5 cm의 오이 잎 디스크 절편을 만들고 절편을 살충제 희석액에 30초간 침지한 후 30분간 음건하였다. 음건 동안 agar를 증류

Table 1. Collection site of *Thrips palmi*

Collection site	Collection date	Coordinates
Anseong	May 13. 2016	37°02'23.1"N 127°12'24.0"E
Nonsan	Mar. 31. 2016	36°14'36.7"N 127°09'53.4"E
Jangseong	Jun. 28. 2016	35°14'50.4"N 126°48'08.2"E
Hoengseong	Jul. 28. 2016	37°27'13.5"N 128°03'13.9"E
Okcheon	Mar. 31. 2016	36°13'15.0"N 127°38'09.2"E
Gimcheon	Apr. 06. 2016	36°10'02.2"N 128°12'09.7"E
Changnyeong	Jul. 26. 2016	35°24'45.4"N 128°28'47.0"E

Table 2. Insecticides and their-recommended concentration

Chemical groups	Insecticides	Supplier	Recommended concentration (mg L ⁻¹)
Antibiotics	Emamectin benzoate EC ^a	Syngenta Korea Ltd.	10.8
Diamides	Cyantraniliprole EC	Kyung Nong Co., Ltd.	50.0
Neonicotinoids	Acetamiprid WP ^d	Kyung Nong Co., Ltd.	40.0
	Dinotefuran WG ^c	NongHyup Chemical Co., Ltd.	20.0
	Imidacloprid WP	Farm Hannong Co., Ltd.	50.0
Pyrroles	Thiacloprid SC ^b	Bayer CropScience Ltd.da	50.0
	Chlorfenapyr EC	Hankook Samgong Co., Ltd.	50.0
Spinosyns	Spinetoram SC	Dongbang Agro Corp.	25.0
	Spinosad SC	Farm Hannong Co., Ltd.	50.0

^aEC: Emulsifiable concentrate; ^bSC: Suspension concentrate; ^cWG: Water dispersible granule; ^dWP: Wettable powder.

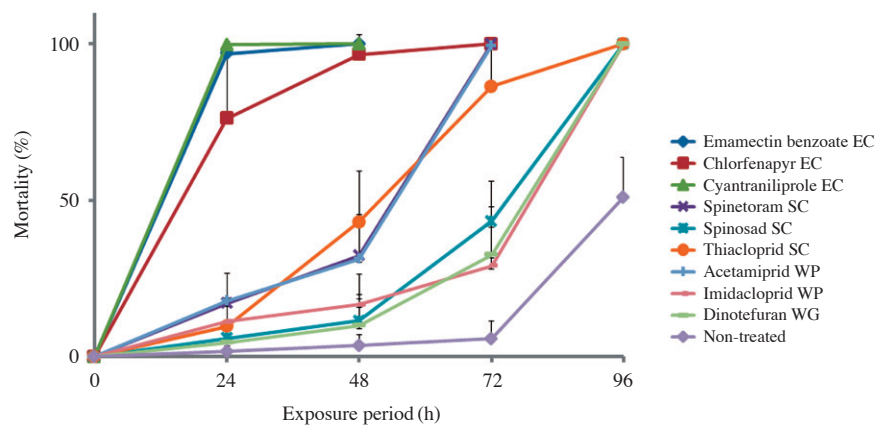


Fig. 1. Mortality (mean \pm S.E., %) in seven local *Thrips palmi* populations exposed to the recommended concentration of each insecticide, measured in 24 h intervals during the 96 h of the exposure period.

수에 0.8%로 희석하여 액체배지를 만들고 망사가 처리된 페트리디쉬($\Phi 5 \times 1.5$ cm², SPL #310050)에 Micro pipette을 이용하여 약 4 mL씩 분주하였다. 액체 agar가 굳은 페트리디쉬에 음건한 오이 잎의 뒷면이 위로 향하게 올려놓은 후, 오이 잎당 20마리씩 오이총채벌레 성충을 넣고 항온기 25 \pm 2 $^{\circ}$ C, 60 \pm 5% RH, 16L: 8D에서 24시간 간격으로 사충수를 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였다. 성충의 사망 유무는 실체현미경(Olympus SZX12, Japan)으로 관찰하였으며, 곤충핀으로 건드려 움직임이 없는 개체는 죽은 것으로 판단하였다.

4. 약제반응 판별 시간 및 판별 농도 설정

약제반응의 판별 시간은 7개 오이총채벌레 지역 계통에 대하여 시험약제별로 추천 농도(recommended concentration, RC)를 처리한 후 24시간, 48시간, 72시간, 96시간에 조사하여 95% 이상의 사충률을 보이는 시간을 판별 시간으로 설정하였다. 약제효과는 시간별 사충률에 대하여 정규성 검정을 실시하였다.

단일 약량에 따른 판별 농도(discriminating concentration, DC) 설정은 지역별 오이총채벌레 계통에 대하여 추천 농도에서 상기 약제별로 설정한 판별 시간에서 사충률의 차이를 살펴보고, 모든 지역에서 100% 사충률을 보여 지역별 차이의 판단이 어려운 약제는 다시 추천 농도를 기준으로 보다 낮은 농도로 희석하여 사충률이 50~80% 범위를 보이는 농도를 선발하여 판별 농도로 사용하였다. 약제처리에 따른 사충률 간의 비교분석은 SAS의 PROC GLM(SAS Institute 1998)의 ANOVA 분석 및 평균 간 비교를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 약제별 살충활성 판별 시간 설정

2016년 채집한 7개 오이총채벌레 지역 계통을 가지고 9종 살충제에 대하여 추천 농도로 약제처리를 하고 시간별 평균 사충률을 조사하였다(Fig. 1). 사충률 결과는 7개 지역 모두에서 정규성 분포를 따라 추가적으로 변수변환(data

transformation)은 하지 않았다. 약제처리 후 조사시간별 살충활성은 다음 조사 시간의 살충활성에 영향을 끼치지 않아 독립적이다. 따라서 약제별 충분한 살충활성 검정 시간은 약제에 대해 95%의 사충율을 보이는 시간을 따라 4구간으로 나뉘었다. 약제처리 후 24시간에 검정 가능 약제는 항생제 계열인 emamectin benzoate (96.6%)와 스피노신계열의 spinetoram (99.4%)이었고, 48시간은 파이롤계인 chlorfenapyr (96.0%), 72시간은 스피노신계열인 Spinosad (100%)와 네오니코티노이드계 acetamiprid (100%)이었으며, 96시간은 디아미드계인 cyantraniliprole (100%)과 네오니코티노이드계 (100%)인 dinotefuran, imidacloprid, thiacloprid였다. 살충제는 화합물의 구조에 따른 작용기작이 다양하고 (IRAC 2017), 해충의 섭식 형태 및 제형의 종류에 따라서 효과를 발휘하는 시간이 달라질 수 있다. 따라서 해충의 종류가 달라지거나 약제가 달라졌을 때 약효를 평가하는 데 충분한 시간이 필요하고 특히 해충의 약제저항성을 진단하는데 있어서는 정확한 생물검정이 필요하므로 약효를 검정하는 시간의 설정이 매우 중요하다. 항생제 계열인 Emamectin benzoate는 하루 만에도 충분한 약효의 검증이 가능하였으나, 네오니코티노이드계 약제는 3~4일의 조사시간이 필요하였다. 본 시험의 결과에서는 약제별 검정 시간이 4일이 필요하였다. 생물검정에 소요되는 시간이 길면 검정 시간 동안 환경의 변화가 검정 결과에 영향을 끼칠 가능성이 크다. 특히, 본 실험에서 먹이의 상태가 중요 환경인자로 작용하여, 충분한 습도의 공급에도 불구하고 먹이가 건조되는 경우가 많았으며, 이러한 영향은 생물검정 결과에 크게 작용했을 것으로 여겨진다. 실제로 무처리구에서 약제 처리 4일 후에 자연사망율이 40% 이상 급상승하였다. 이는 사충률 판단을 위한 기본 전제조건인 자연사망률 20% 이하를 넘는 환경조건으로 (Paramassivam and Selvi 2017), 검정 시간을 3일 이내로 설정하는 것이 바람직하다. 생물검정은 간단하고 정확하며 재현 가능한 방법으로 신속하게 검정할 수 있어야 한다. 일부 곤충생장조절제 (Insect growth regulator)의 경우는 7~10일의 조사시간이 필요하지만 대부분의 약제의 경우엔 3~4일 이내에 결과를 해석하고 판단하는 것이 일반적이다. 따라서 본 시험에서 사용한 9종 약제의 판별 시간을 emamectin benzoate와 spinetoram은 처리 후 24시간, chlorfenapyr는 48시간, spinosad, cyantraniliprole, acetamiprid, dinotefuran, imidacloprid, thiacloprid는 72시간으로 3구간 설정할 수 있었다.

2. 약제반응 판별 농도의 설정

단일 약량을 기반으로 실시한 약제반응 조사에서 판별 농

도 설정은 매우 중요하다. 네오니코티노이드계 4종을 제외한 5종의 약제에 대하여 추천 농도와 판별 농도의 살충활성 결과는 Fig. 2와 같다. Emamectin benzoate EC의 경우 추천 농도 (10.8 mg L^{-1})보다 800배 더 낮은 0.013 mg L^{-1} , spinetoram SC는 추천 농도 (25 mg L^{-1})보다 100배 낮은 0.125 mg L^{-1} , spinosad SC는 추천 농도 (50 mg L^{-1})보다 600배 낮은 0.083 mg L^{-1} , chlorfenapyr EC는 추천 농도 (50 mg L^{-1})보다 200배 낮은 0.25 mg L^{-1} , cyantraniliprole EC는 추천 농도 (50.0 mg L^{-1})보다 10배 낮은 5.0 mg L^{-1} 에서 지역 간의 차이를 볼 수 있었다. 이들 살충제는 국내 7개 지역 오이충채벌레계통에 대하여 추천 농도로 충분히 살충효과를 갖고 있었으며, 현재 사용농도 보다 충분히 낮은 농도 (10~800배)에서도 높은 방제효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 네오니코티노이드계 살충제 4종에 대하여 추천 농도에서의 살충활성은 약제에 따라 지역별로 차이를 보였으며, 추천 농도의 2배 농도 ($2 \times \text{RC}$)에서도 acetamiprid WP, thiacloprid SC는 지역 간의 차이를 보여주었고, imidacloprid WP와 dinotefuran WG (사충률 100%)는 지역 간의 차이를 보이지 않았다 (Fig. 3).

단일 약량에 의한 약제반응의 조사는 단순한 방법이나 대상 해충의 약제에 대한 저항성 발달을 확인하고 지역 계통별 비교 및 연도별 저항성 발달 수준을 살피는 데 있어서 매우 유용한 방법이다. 본 연구에서 설정한 판별 농도를 통하여 앞으로 지속적으로 오이충채벌레의 약제반응 자료를 축적한다면 국내 오이충채벌레에서의 약제저항성 발달의 추적이 가능할 것으로 생각한다.

3. 오이충채벌레의 약제저항성 발달 수준

Emamectin benzoate EC는 판별 농도에서 살충활성이 가장 높은 지역은 논산 계통 (68.3%)이었고 그 다음으로 안성 계통 (56.7%)이었으며 가장 낮은 살충활성을 보인 지역은 장성 (20.0%), 창녕 (18.3%), 횡성 (18.3%)으로 나타났다. 상대적으로 Emamectin benzoate는 매우 낮은 농도에도 높은 살충활성을 보이는 약제로서 현재 국내에서 오이충채벌레에 대하여 저항성이 발달했다고 보기 힘들다. Chlorfenapyr EC는 논산 계통 (88.3%)에서 가장 높은 살충활성을 보였고 김천 계통 (68.3%)에서는 가장 낮은 살충활성을 보였다. Spinetoram SC는 논산 (81.7%), 창녕 (86.7%), 김천 (85.0%), 횡성 (83.3%), 장성 (86.7%) 계통에서 통계적으로 유사한 살충활성을 보였고, 옥천 (65.0%)과 안성 (61.7%) 계통의 경우 살충활성이 다른 지역에 낮았다. Spinosad SC는 옥천 계통 (89.5%)이 가장 높은 살충활성을 보였고, 창녕 계통 (75.4%)이 가장 낮은 살충활성을 보였다. Cyantraniliprole EC는 논산 계통에서 살충활성 78.9%로 상대적으로 타 지역에 비해

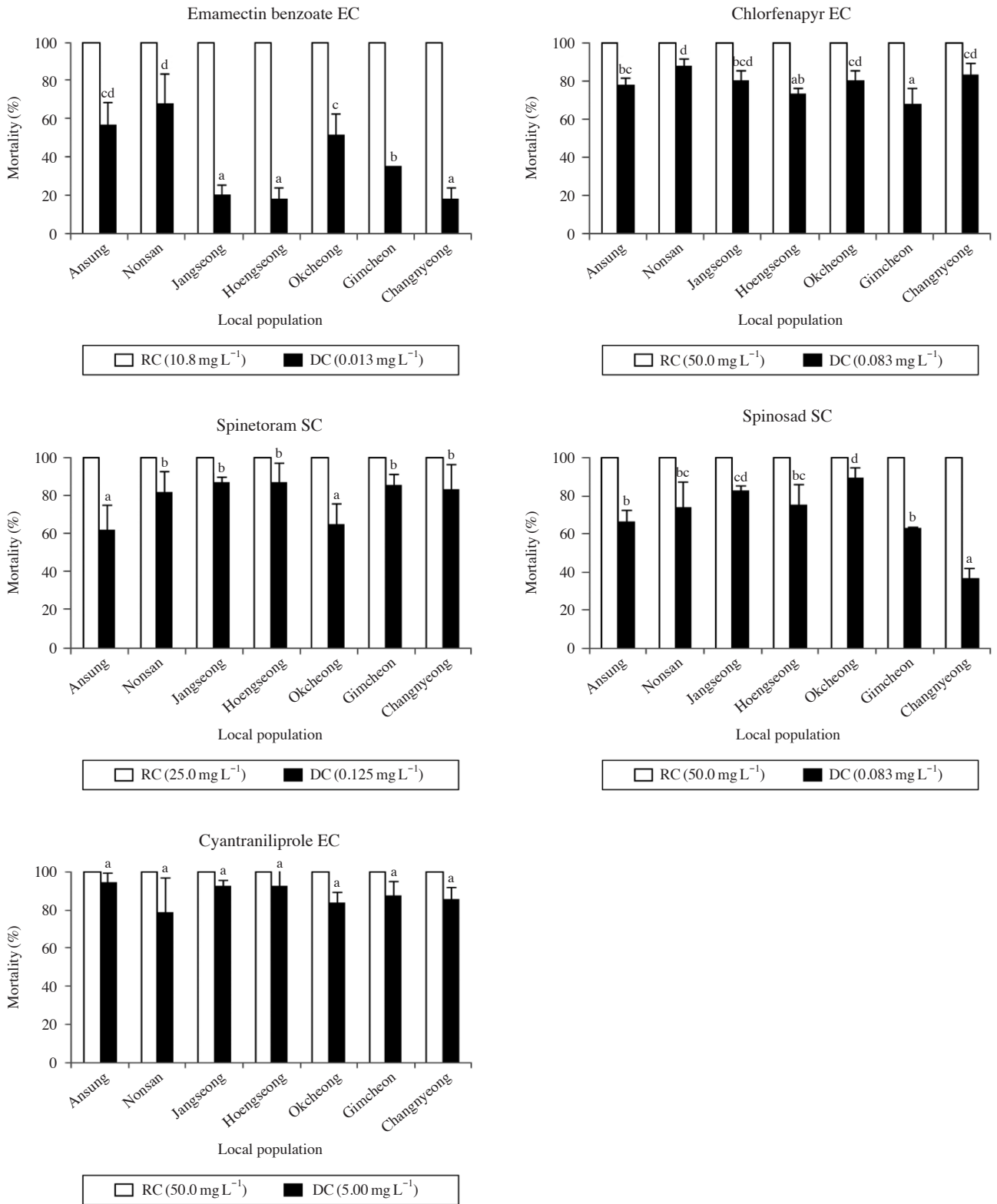


Fig. 2. Mortality (mean \pm S.E., %) in seven local *Thrips palmi* populations exposed to the recommended concentration (RC) and discriminant concentration (DC) of emamectin benzoate, chlorfenapyr, spinetoram, spinosad and cyantraniliprole. The same letter on each bar in each treatment means no significant difference was found at $p = 0.05$ (Tukey's HSD test).

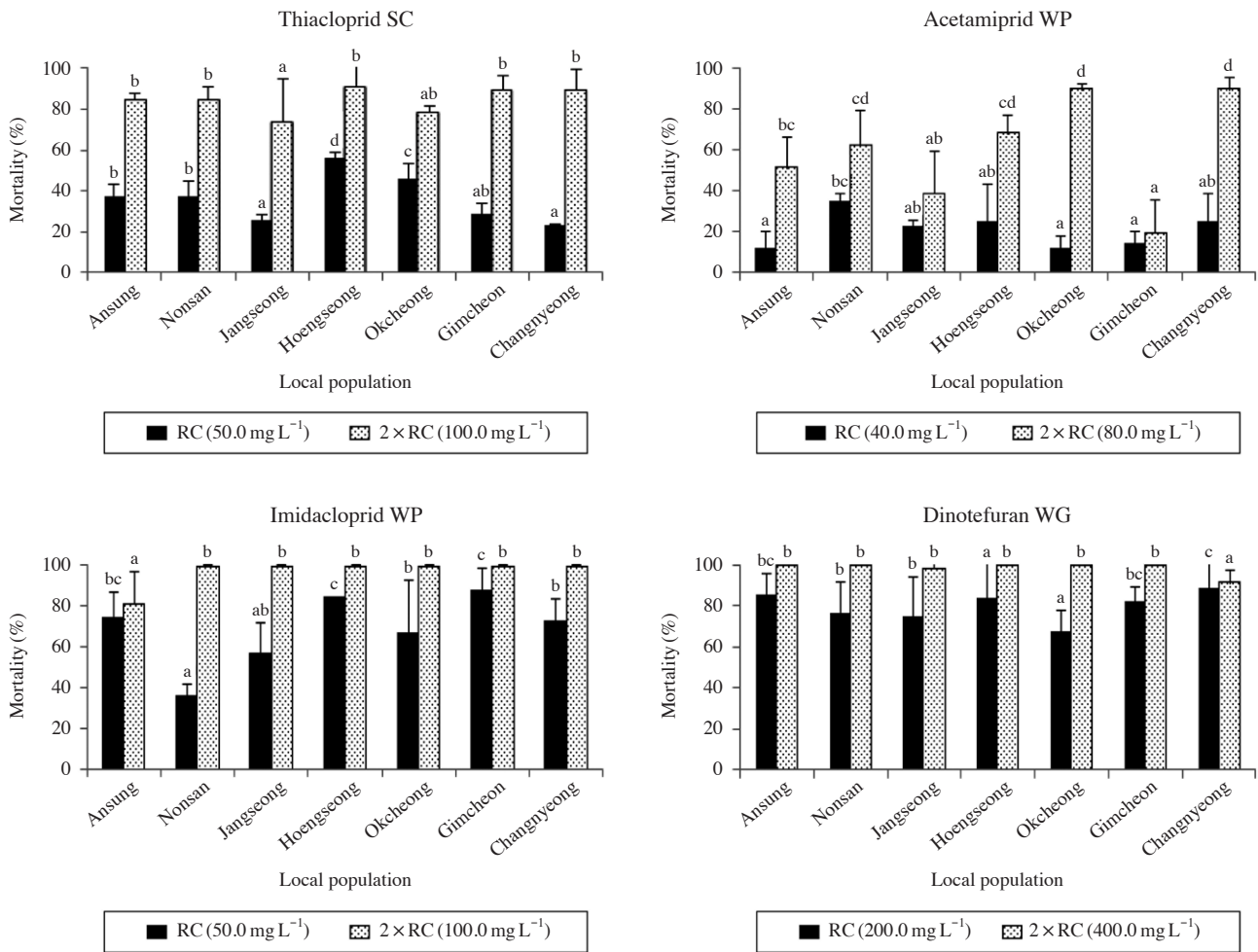


Fig. 3. Mortalities (mean ± S.E., %) in seven local *Thrips palmi* populations exposed to the recommended concentration (RC) and 2 × RC. The same letter on each bar in each treatment means no significant difference was found at $p=0.05$ (Tukey’s HSD test).

낮게 나왔지만, 통계적으로 차이를 보이지 않았다. 이들 5가지 약제의 추천 농도 살충활성은 우수하였기에 농가에서 방제에 사용하기에 충분하다고 판단된다. 오이총채벌레의 약제저항성에 관한 연구는 거의 수행되지 않았고 꽃노랑총채벌레에 대하여는 약제반응에 관한 연구가 많이 수행되어 왔다. You *et al.* (2002)도 장미 재배지에서 채집한 꽃노랑총채벌레 약제 평가에서 Emamectin benzoate와 spinosad에서 약제효과가 좋았다고 보고하였으며, Choi *et al.* (2005)은 오이총채벌레가 chlorfenapyr, spinosad, emamectin benzoate 및 fipronil에 대해 높은 감수성을 보임을 보고하였고, Lee *et al.* (2017)은 경기지역 시설재배지에서 꽃노랑총채벌레에 대한 약제반응결과 spinosad나 spinetoram에 대해 높은 감수성을 보인다고 보고하였다. 이들 약제들의 판별 농도에서의 살충활성을 살펴볼 때 지역에 따라 조금씩 저항성이 발달되고 있는 것을 알 수 있었으나 약제별, 지역별 저항성 발달 양상

은 파악하기 힘들었고 현재까지는 저항성이 크게 문제될 정도는 아니라고 판단된다. 현재 오이총채벌레 방제에 사용하고 있는 이들 약제의 농도는 방제효능 대비 상당히 고농도로 사용되고 있어서 향후 저항성 관리 차원에서 사용약량을 줄이는 것이 바람직하리라 생각한다.

네오니코티노이드 계통의 약제는 추천 농도에서 살충활성이 지역 계통 간 차이를 보여 추천 농도를 판별 농도로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. Acetamiprid WP는 모든 지역 계통에서 살충활성이 40% 이하로 나타났고 가장 높은 지역은 nonsan(35.4%), 가장 낮은 지역은 옥천(12.1%), 김천(14.6%), 안성(12.1%)지역 계통이었다. Dinotefuran WG는 가장 높은 살충활성은 창녕(89.3%)이었으며, 가장 적은 살충활성은 옥천(67.9%)이었고, 기타 지역에서는 70~80%의 살충활성을 보였다. Imidacloprid WP는 가장 높은 살충활성은 김천(87.9%)이었고, 가장 낮은 지역은 nonsan(36.2%)이었

으며 김천을 제외한 모든 지역에서 살충활성은 40% 이하였다. Thiacloprid SC는 모든 지역 계통에서 살충활성이 60% 이하로 나타났다. 가장 높은 살충활성을 보인 지역은 횡성 (55.9%)이었고, 가장 낮은 살충활성을 보인 지역은 창녕 (23.7%)과 장성 (37.3%)이었다. 네오니코티노이드계 살충제는 비교적 최근에 개발되어 상용화되었으며, 환경에 영향이 낮은 저독성이며 곤충에 대하여는 선택적 독성 작용과 침투 이행성 기작의 장점을 갖고 있어 많은 흡즙성 해충 및 저작 해충의 방제에 사용되어 왔다 (Horowitz and Ishaaya 2004). 그러나 최근 무분별한 살충제 남용에 의해 전 세계적으로 다양한 해충에서 약제저항성 문제가 보고되고 있으며 (Wang *et al.* 2008; Bass *et al.* 2015; Huseth *et al.* 2016) 국내에서도 꽃노랑총채벌레, 담배가루이 등에서 문제가 되고 있다 (Lee *et al.* 2012, 2017). 본 연구에서는 국내 오이총채벌레가 네오니코티노이드계 약제에 대하여 저항성이 발달하고 있음을 알 수 있었으며, 네오니코티노이드 계통에서 교차저항성이 나타나므로 약제저항성 관리가 필요할 것으로 생각된다.

결과를 종합해보면, 살충제의 방제효율을 측정하기 위해서 다양한 생물검정법이 사용되고 있다 (Paramassivam and Selvi 2017). 특히 약제처리 후 조사시간은 살충제의 특성을 고려하여 설정하는 것이 바람직하다. 본 실험에서는 오이총채벌레에 대한 약제별 살충활성을 알아보기 위해 엽침지법을 이용하여 생물검정 시 약제별 효율에 따른 판별 시간을 제시하여 정확한 약효 판단이 가능하도록 하였다. 단일 농도 기반의 생물검정법은 지역 계통별 연도별 대상 해충에 대한 약제반응의 차이를 분석하는 하나의 수단이 될 수 있다 (Roush and Miller 1986). 살충제는 대상해충, 대상작물에 따라 최적의 추천약량이 설정되어 있다. 추천약량에서의 약효검정은 포장에서의 방제효과 예측이 가능하다. 본 연구에서 제시한 판별 농도는 실제 포장에서의 약효 검정이 아닌 방제 대상 해충의 약제저항성 발달의 동태를 파악하기 위해 설정한 조건으로 추천 농도를 기준으로 최소 10배에서 많게는 800배까지 희석한 농도이다. 국내 시설재배지에서 사용 중인 네오니코티노이드계통의 살충제들은 오이총채벌레에 대하여 지역에 따라 저항성이 발달되고 있어 방제효과를 기대하기 어려울 것으로 판단되나 Emamectin baenzate, chlorfenapyr, cyantraniliprole 및 스피노신계인 spinetoram, spinosad는 저항성 수준이 낮아서 현재 사용약량(추천 농도)에서 충분한 방제가 가능하여 사용을 권장할 수 있다. 하지만 일부 약제들은 현재 사용약량보다 상당히 낮은 약량에서도 충분한 살충효과를 보여주었다. 고농도 약제의 지속적 살포로 환경적 측면에서 농약잔류 문제, 저항성 발달이 미치는 영향 등과 농가의 생산비 절감 차원에서 지금보다 사용약량을 줄일 필요가 있다.

본 연구에서는 시설재배지 내 오이총채벌레에 대한 단일 약량 기반의 신속한 약제반응 조사 방법을 제시하였다. 본 생물검정 체계가 대만총채벌레, 꽃노랑총채벌레 등 다른 총채벌레에도 동일하게 적용될 수 있을지 여부는 추가 시험을 통해 검증해 볼 필요가 있다. 약제저항성 관리에 있어서 저항성 발달 수준을 신속히 파악하여 저항성 약제의 사용을 자제하고 대체 약제 선택이 매우 중요하다. 해충의 약제저항성은 일부 지역 및 시기에 한정되어 1회성 조사로 끝낼 것이 아니라 수년간 지속적으로 모니터링을 실시해야 한다. 그리하여 해충의 약제저항성 발달 양상 파악이 가능하다면 전략적으로 약제저항성 문제에 선제적 대응으로 약제에 대한 저항성 발달을 줄이면서도 방제효율을 극대화 시킬 수 있을 것이다.

적 요

오이총채벌레의 약제저항성 발달 양상을 조사하기 위하여 엽침지법을 이용한 생물검정을 실시하였다. 국내 7개 재배 시설지역에서 오이총채벌레를 채집하였고 9개 시험 약제를 선정하고 가장 효과적인 약효 판별 시간 및 단일 약량기반 판별 농도를 설정하여 약제반응을 조사하였다. 추천 농도 (recommended concentration, RC)에서의 약제별 판별 시간은 emamectin benzoate EC 및 spinetoram SC는 처리 후 24시간, chlorfenapyr EC는 48시간, spinosad SC, cyantraniliprole EC, acetamiprid WP, dinotefuran WG, imidacloprid WP, thiacloprid SC는 72시간으로 설정하였다. 판별 농도 (discriminating concentration, DC)는 7개 오이총채벌레 계통의 추천 농도에서 살충력을 조사한 결과 지역별 약제반응의 차이를 관찰할 수 없는 경우에는 처리 약량을 줄이거나 늘려 지역별 차이를 볼 수 있는 농도로 설정하였다. 약제별 판별 농도는 emamectin benzoate EC 0.013 mg L⁻¹ (RC, 10.8 mg L⁻¹), spinetoram SC는 0.125 mg L⁻¹ (RC, 25.0 mg L⁻¹), chlorfenapyr EC는 0.25 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹), Spinosad SC는 0.083 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹), cyantraniliprole EC는 5.0 mg L⁻¹ (RC, 50.0 mg L⁻¹)으로 설정하였고, 네오니코티노이드 계통인 acetamiprid WP (RC, 40.0 mg L⁻¹), dinotefuran WG (RC, 20.0 mg L⁻¹), imidacloprid WP (RC, 50.0 mg L⁻¹), thiacloprid SC (RC, 50.0 mg L⁻¹)는 추천 농도를 판별 농도로 설정하였다. 설정된 판별 농도와 판별 시간을 적용하여 생물검정을 실시한 결과, acetamiprid를 포함한 4종의 네오니코티노이드계 약제에서는 모든 지역에서 저항성이 발달되고 있어 약제저항성 관리가 필요할 것으로 판단되었다. 그밖에 emamectin benzoate 등 5종 약제는 추천 농도에서 살충력이

모든 지역에서 100%를 보여 약제저항성은 아직 발달되지 않았다. 제시된 약제 효율 판별 시간 및 판별 농도 기준 단일 약량 생물검정법을 활용한 지속적인 모니터링을 실시한다면 국내 오이충채벌레의 약제저항성 동태 추적 및 약제저항성 관리에 크게 도움이 될 것이다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다과제(과제번호: PJ01181201)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부입니다.

REFERENCES

- Bass C, I Denholm, MS Williamson and R Nauen. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pestic. Biochem. Physiol.* 121:78-87.
- Boonham N, P Smith, K Walsh, K Tame, J Morris, N Spence, J Bennison and I Barker. 2002. The detection of tomato spotted wilt virus (TSWV) in individual thrips using realtime fluorescent RT-PCR (TaMan). *J. Virol. Methods* 101:37-48.
- Brødsgaard HF. 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.
- Cho JR, YJ Kim, YJ Ahn, JG You and JW Lee. 1995. Monitoring of acaricide resistance of Two-spotted mite, *Teranychus urticae* Koch in Wild Type. *Korean J. Appl. Entomol.* 34:40-45.
- Choi BY, SW Lee, HM Park, JK Yoo, SG Kim and CH Baik. 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in plastic house. *Korean J. Pestic. Sci.* 4:380-390.
- Demirozer O, K Tyler-Julian, J Funderburk, N Leppla and S Reitz. 2012. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) integrated pest management programs for fruiting vegetables in Florida. *Pest Manag. Sci.* 68:1537-1545.
- Denoyes B and D Bordat. 1986. A new pest of vegetable crops in Martinique: *Thrips palmi* (Karny). *Agro. Trop.* 41:167-169.
- Eger JE, J Stavisky and JE Funderburt. 1998. Comparative toxicity of spinosad to *Frankliniella* spp. (Thysanoptera: Thripidae) with notes on a bioassay technique. *Florida Entomol.* 81:547-550.
- Horowitz AR and I Ishaaya. 2004. Biorational insecticides mechanisms, selectivity and importance in pest management. In *Insect Pest Management: Field and Protected Crops* (Horwitz AR and I Ishaaya eds). Springer, Berlin-Heidelberg, Germany. pp. 1-28.
- Huseth AS, TM Chappell, K Langdon, SC Morsello, S Martin, JK Greene, A Herbert, AL Jacobson, FP Reay-Jones, T Reed, DD Reisig, PM Roberts, R Smith and GG Kennedy. 2016. *Frankliniella fusca* resistance to neonicotinoid insecticides: an emerging challenge for cotton pest management in the eastern United States. *Pest Manag. Sci.* 72:1934-1945.
- IRAC. 2017. Mode of action classification schem. www.irac-online.org/documents/moa-classification/?ext=pdf (accessed Oct. 30. 2017).
- 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.
- Lee YS, JY Kim, SS Hong, J Park and HH Park. 2012. Occurrence of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera; Aleyrodidae) and its response to insecticide in Gyeonggi area. *Korean J. Appl. Entomol.* 51:377-382.
- Morishita M. 1993. Toxicity and synergism of some insecticides against larvae of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *Jpn. J. Appl. Ent. Zool.* 37:153-157.
- Paramasivam M and C Selvi. 2017. Laboratory bioassay methods to assess the insecticide toxicity against insect pests - A review. *J. Entomol. Zool. Stud.* 5:1441-1445.
- Park JD, HB Lee, DI Kim, SG Kim and SD Song. 1999. Evaluation of effectiveness and bioassay of insecticide residues of chlorfenapyr (AC303 630) against *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) under laboratory and vinyl house conditions. *Korean J. Pestic. Sci.* 2:69-73.
- Pelikan J. 1998. *Thrips palmi* (Thysanoptera) threatens European glasshouse crops. *Plant Protection-UZPI* 34:39-42.
- Rosenheim JA, SC Welter, W Johnson, RFL Mau and LR Gusukuma-Minuto. 1990. Direct feeding damage on cucumber by mixed-species infestation of *Thrips palmi* and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera, Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 83:1519-1525.
- Roush RT and GL Miller. 1986. Considerations for design of insecticide resistance monitoring programs. *J. Econ. Entomol.* 79:293-298.
- SAS Institute, Inc. 1999. SAS version 9.1, SAS Institute Cary, N.C.
- Stanley BH. 2014. Monitoring Resistance. In *Insect Resistance Management* (Ostard DW ed.). Academic Press. Amsterdam. pp. 485-513.
- Wang Y, J Chen, YC Zhu, C Ma, Y Huang and J Shen. 2008. Susceptibility to neonicotinoids and risk of resistance de-

- velopment in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Pest Manag. Sci. 64: 1278–1284.
- Woo KS. 1972. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 11:45–54.
- You JS, Ji Kim and KH Kim. 2002. Monitoring of Insecticidal sensitivity collected western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera, Thripidae) in rose agriculture. Korean J. Pestic. Sci. 4:380–390.
- Received: 1 November 2017
Revised: 29 November 2017
Revision accepted: 1 December 2017