

## 14종 살충제의 담배가루이 성충에 대한 살충제 약제반응 조사

정인홍<sup>1,\*</sup>, 김이선<sup>1</sup>, 김소희<sup>2</sup>, 이종혁<sup>3</sup>, 윤경재<sup>3,4</sup>, 이시혁<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, <sup>2</sup>경기도농업기술원 환경농업연구과,

<sup>3</sup>서울대학교 농생명공학부, <sup>4</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

## Insecticidal response of 14 insecticides against Korean *Bemisia tabaci* local populations

In-Hong Jeong<sup>1,\*</sup>, Leesun Kim<sup>1</sup>, So-Hee Kim<sup>2</sup>, Jong Hyeok Lee<sup>3</sup>, Kyungjae Andrew Yoon<sup>3,4</sup> and Si Hyeock Lee<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>2</sup>Environmental Agricultural Research Division, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong 18388, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

<sup>4</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

### Contribution to Environmental Biology

- The research provides useful information on the use of agricultural chemicals for the control of *Bemisia tabaci*.
- Farmers can select and use the highly efficient insecticide suitable for their region.

### \*Corresponding author

In-Hong Jeong  
Tel. 063-238-3312  
E-mail. ihjeong1@korea.kr

**Received:** 21 September 2023

**Revised:** 7 December 2023

**Revision accepted:** 15 December 2023

**Abstract:** *Bemisia tabaci* Gennadius, one of the most invasive insect pests, has spread quickly nationwide since it was introduced to South Korea in 2008. The use of insecticides is the main management strategy for this pest, but the control efficiency has been decreased due to insecticide resistance. We collected 12 local *B. tabaci* populations to investigate the regional differences in efficiency and observed the mortality from 14 commercial insecticides applied at recommended concentrations (RC) and dilutions (0.1 RC and 0.01 RC) using the leaf dipping bioassay. Except for etofenprox (46–64%), thiamethoxam (37–60%), pyriproxyfen (21–61%), and pyridaben (61–65%), the other insecticides showed excellent insecticidal efficacy of 70% to 100% at their RC. In particular, flupyradifurone, emamectin benzoate, and cyantraniliprole showed high insecticidal efficacy of over 90% in all of the tested populations. Some insecticides that rapidly decreased in activity (less than 30%) at diluted concentrations or showed high resistance levels in nearby regions were classified for cautious use due to the possibility or potential to develop resistance. The results provide selected insecticides for *B. tabaci* control by region and could contribute to reducing insecticide abuse and increasing insecticidal efficiency in farming fields.

**Keywords:** *Bemisia tabaci* Gennadius, local population, insecticidal efficiency, resistance

## 1. 서론

세계적으로 가장 심각한 농업해충의 하나인 담배가루이 (*Bemisia tabaci* Gennadius)는 기주 범위가 매우 넓어 채소류를 포함한 600여 종의 식물을 직접적으로 가해하여 농산물 생산에 크게 피해를 주고 있다. 또한 담배가루이는 토마토황화잎말림바이러스 (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 등 200종 이상의 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 있다 (Abd-Rabou and Simmons 2010; Navas-Castillo *et al.* 2011).

담배가루이는 외래 침입해충으로 1998년 처음 발견 보고되었다. 이후 전국적으로 빠르게 확산하여 대부분의 시설 및 노지재배 작물에서 관찰되고 있다 (Lee *et al.* 2000; Guo *et al.* 2022). 담배가루이는 기주특이성이나 바이러스 매개성 등 생물적인 특성에서 차이를 보이는 24종의 생태형이 있는 것으로 보고되었다 (Perring 2001). 그러나 최근에는 이들이 한 종이 아니라 형태적으로 구분이 어려운 40개 이상의 은밀종복합군 (cryptic species complex)을 형성하고 있다고 알려져 있다 (Lee *et al.* 2013; Lee and Lee 2017). 그 가운데 가장 문제가 되고 있는 것은 담배가루이 MEAM1 (B 생태형)과 MED (Q 생태형)이며, 국내에서는 대부분 MED만 관찰이 되고 있다 (Jeong *et al.* 2020; Guo *et al.* 2022). 담배가루이 MED는 MEAM1에 비하여 번식률은 다소 떨어지나 네오니코티노이드계 살충제 등 일부 살충제에 대해 저항성 발달이 빠르고 바이러스 감염성도 높다고 알려져 있다 (Nauen *et al.* 2002; Luo *et al.* 2010; Chen *et al.* 2016).

담배가루이 방제를 위하여 천적이거나 유기농자재를 이용하는 친환경 시설재배 농가를 제외하고 대부분의 농가에서 살충제를 사용하고 있다. 세대기간이 짧아 연중 발생하는 담배가루이는 세대수가 많고, 살충제에 지속적으로 노출됨에 따라 저항성이 빠르게 발달하는 것으로 알려져 있다 (Horowitz *et al.* 2005; Ahmad *et al.* 2010; Wang *et al.* 2018, 2020). 국내에서도 일부 지역 집단에서 imidacloprid와 clothianidin 등 네오니코티노이드 (neonicotinoids) 계 살충제의 저항성 보고가 있다 (Lee *et al.* 2010). 또한, spinetoram, pyrifluquinazon, pyridaben, pyriproxyfen의 저항성 발현에 따른 약효 저하가 보고된 바 있다 (Jeong *et al.* 2020). 최근에는 작용기작이 다른 5종 약제 (dinotefuran, spinosad, emamectin benzoate, chlorfenapyr 및 bifenthrin)에 대한 바이알 잔류접촉법 조사를 통해, 이들 약제에 대한 담배가루이 저항성이 전국적으로 분포되어 있음이 보고되었다 (Kim *et al.* 2021). 약제저항성의 발달은 약제의 방제효율 저하 및 작물 생산성 감소, 농약 사용량의 증대 등을 야기하여 농가에게는 큰 문제가 되고 있다.

본 연구에서는 국내에 분포하는 담배가루이 지역집단을 대상으로 방제에 등록된 살충제들의 살충력을 검증하여 지역별로 효과가 우수한 약제와 저항성 발달로 인하여 사용시 주의가 필요한 약제에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시험 곤충

시험에 사용한 담배가루이의 지역집단은 중서부 지역에

**Table 1.** Collection site and collection date of Korean *Bemisia tabaci* populations

Group	Collection site	Collection date	Host plant	Coordinates
GG_AS	Anseung, Gyeonggi	Aug. 03. 2021	Soybean	36°58'15.6"N 127°11'49.7"E
GG_GJ	Gwangju, Gyeonggi	Oct. 06. 2021	Tomato	37°58'15.6"N 127°11'49.7"E
CN_NS	Nonsan, Chungnam	Aug. 04. 2021	Pepper	36°13'53.5"N 127°06'03.9"E
CN_DJ	Dangjin, Chungnam	Aug. 04. 2021	Pepper	36°47'54.7"N 127°41'25.6"E
GB_SJ	Sangju, Gyeongbuk	Aug. 04. 2021	Korean melon	36°25'54.9"N 128°09'40.8"E
GB_AD	Andong, Gyeongbuk	Jun. 30. 2021	Korean melon	36°33'20.3"N 128°29'37.2"E
GN_CN	Changnyeong, Gyeongnam	Jul. 23. 2021	Pepper	35°24'30.3"N 128°29'13.5"E
GN_JJ	Jinju, Gyeongnam	Jul. 29. 2021	Pepper	35°14'39.3"N 128°08'15.0"E
JB_WJ	Wanju, Jeonbuk	Jul. 20. 2021	Cucumber	37°13'24.9"N 127°02'47.1"E
JB_JE	Jeongeup, Jeonbuk	Jul. 20. 2021	Cucumber	35°37'25.8"N 126°51'34.6"E
JN_SC	Suncheon, Jeonnam	Jul. 29. 2021	Cucumber	34°55'02.7"N 127°30'55.5"E
JN_GH	Goheung, Jeongnam	Jul. 21. 2021	Tomato	34°57'17.1"N 127°20'11.6"E

해당하는 경기도 안성시, 광주시, 충남 논산시, 당진시, 남동부지역인 경북 상주시, 안동시, 경남 창원시, 진주시 그리고 남서부 지역인 전북 완주군, 김제시, 전남 순천시, 고흥군 등 12개 집단이었다(Table 1). 2021년 6월에서 10월 까지 시설 채소 및 노지 콩재배 포장에서 채집 후, 지역별로 구분하여 아크릴케이지(25×25×30 cm<sup>3</sup>) 내에서 담배 유묘(정식 후 30일 이상)를 공급하며 2~3세대 사육하였다. 사육조건은 온도 25±2°C, 상대습도 60±5%, 광주조건 16L:8D이었다.

## 2.2. 시험약제

연구에 사용한 살충제는 담배가루이 방제를 위해 상업적으로 등록된 네오니코티노이드계인 acetamiprid 수화제(주성분함량 20%, 상표명 모스피란), dinotefuran 수화제(10%, 오신), imidacloprid 액상수화제(8%, 코니도), thiamethoxam 입상수화제(10%, 아타라) 등 4종과 디아미이드계 cyclaniliprole 수용제(4.5%, 라피탄), cyantraniliprole 유제(5%, 프로큐어) 등 2종, 그리고 피레스로이드계 etofenprox 유제(20%, 세베로), 그리고 sulfoxaflor 입상수화제(7%, 스트레이트), flupyradifurone 액제(17.09%, 시반토), spinetoram 액상수화제(5%, 엑셀트), emamectin benzoate 유제(2.15%, 에이팜), pyriproxyfen 유제(10%, 신기루), pyrifluquinazon 입상수화제

(10%, 팡파레), pyridaben 수화제(20%, 산마루) 등 살충기작이 다른 각 1종을 포함하여 총 14종이었으며(Table 2), 각각의 약제를 증류수에 시험농도로 희석하여 사용하였다.

## 2.3. 생물검정

생물검정은 Insecticide resistance action committee에서 제안한 시험법 #016 (IRAC 2023)과 유사한 Jeong *et al.* (2020)의 엽침지법(leaf dipping method)을 이용하였다. 살충제를 각 시험농도에 맞게 증류수로 희석하여 희석액에 오이 잎 절편(직경 3.5 cm)을 만들어 30초간 침지한 후, 후드 안에서 30분간 건조시켰다. 별도로 0.8%의 agar 배지를 페트리디쉬(Φ5×h 1.5 cm, SPL #310050; SPL Life Sciences, Korea)에 부어 굳힌 다음 그 위에 살충제 처리 후 건조한 오이절편을 뒷면이 위로 향하게 올려놓았다. 담배가루이 성충을 페트리디쉬당 20마리씩 접종하고 망사가 있는 뚜껑을 닫은 후 항온기 내(25±2°C, 60±5% RH, 16L:8D)에 두고, 살충제별 처리 후 조사시간을 달리하여 1회 사충수를 조사하였다. 성충의 사망 여부는 실체현미경(Olympus SZX12; Olympus, Japan)을 이용하여 곤충핀으로 시험 곤충을 건드렸을 때, 움직임의 유무로 판단하였다. 살충률은 무처리의 자연사망률을 고려한 보정사충률(%)로 구하였으며(Abbott 1925), 모든 실험 처리는 3반복으로 실시하였다.

**Table 2.** Tested insecticides

Insecticide	Formulation <sup>a</sup>	RC <sup>b</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	DT <sup>c</sup> (day)	Chemical group (IRAC #)
Etofenprox	EC <sup>a</sup>	200	2	Pyrethroids (3A)
Acetamiprid	WP <sup>b</sup>	40	4	Neonicotinoids (4A)
Dinotefuran	WP	100	4	
Imidacloprid	SC <sup>c</sup>	40	4	
Thiamethoxam	WG <sup>d</sup>	50	4	
Sulfoxaflor	WG	35	4	Sulfoxamines (4C)
Flupyradifurone	SL <sup>e</sup>	85.5	4	Butenoides (4D)
Spinetoram	SC	25	3	Spinosyns (5)
Emamectin benzoate	EC	21.5	2	Avermectins (6)
Pyriproxyfen	EC	50	4	Insect growth regulator (7C)
Pyrifluquinazon	WG	50	4	Pyridine azomethines (9B)
Pyridaben	WP	200	4	Pyridazinone (21A)
Cyclaniliprole	SL <sup>c</sup>	22.5	3	Diamides (28)
Cyantraniliprole	EC	25	3	

<sup>a</sup>EC, Emulsifiable concentrate; WP, Wettable powder; SC, Suspension concentrate; WG, Water dispensable granule; SL, Soluble concentrate

<sup>b</sup>RC: Recommended concentration for *Bemisia tabaci* control

<sup>c</sup>DT: Discrimination time after insecticide treatment in bioassay.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 담배가루이 지역집단에 대한 약제별 살충력 조사

국내 담배가루이 12개 지역집단의 성충에 대하여 현재 사용되고 있는 14개 살충제들의 제조사에서 제시하는 적정사용약량(추천농도, recommended concentration, RC)과 그 10배(0.1RC), 100배(0.01RC) 희석 농도에서의 살충력(%)을 실내 검정하였다(Tables 3 and 4, Fig. 1). 결과 지역에 따라 살충력의 차이를 보여주고 있으나, etofenprox, thiamethoxam, pyriproxifen, pyridaben 등 4종을 제외한 대부분의 살충제들은 추천농도에서 70% 이상의 살충력을 보여주었다. 특히, flupyradifurone, emamectin benzoate, cyantraniliprole은 모든 조사 지역집단에서 90% 이상의 높은 살충력을 보였으며, 나머지 약제들도 1~5개 지역에서만 90% 이하의 살충력을 보였다. 따라서 국내 담배가루이 성충의 방제에 있어서 몇몇 약제를 제외하고는 충분한 방제 효과를 갖고 있을 것으로 기대된다.

피레스로이드(pyrethroids)계 약제인 etofenprox는 경기 광주(52%)와 안성(54%), 경남 창녕(46%), 전남 순천(64%)과 고흥(66%) 지역의 고추, 콩, 토마토, 오이 등 재배 작물과 상관없이 추천 농도에서 70% 이하의 살충력을 보였다.

네오니코티노이드계의 4종 약제들 가운데 actamiprid, dinotefuran, imidacloprid는 거의 모든 지역에서 90% 이상의 살충력을 보였으며, 경북 상주와 경남 진주에서는 100배 희석농도(0.01RC)에서도 90% 이상이었다. 10여 년 전에 수행된 thiacloprid와 clothianidin을 포함하여 5종 네오니코티노이드 살충제가 전국 9개 지역집단에서 거의 효과가 없었던 연구 결과(Lee *et al.* 2010)와 상반된 결과로 그동안 이들 네오니코티노이드 약제에 대한 담배가루이의 감수성이 많이 회복된 것으로 추정된다. Thiamethoxam은 위 동일계열 약제들과 달리 많은 지역에서 낮은 살충력을 보였으며, 경기 광주(58%), 안성(37%), 충남 논산(58%), 경남 창녕(60%), 전북 완주(59%), 정읍(48%), 전남 순천(53%)지역에서의 살충력이 60% 이하였다. Thiamethoxam은 같은 계열의 살충제들과 낮은 교차 저항성을 보이는 것으로 추측되며, 이는 Lee *et al.* (2010)의 연구에서 보인 약제별 군집분석을 통해 thiamethoxam과 thiacloprid가 형성한 그룹이 타 네오니코티노이드 약제와 다르게 그룹화되어 서로 살충작용 기구가 다를 것이라

고 유추했던 것과 일치한 결과를 보였다.

네오니코티노이드계와 유사하게 니코틴아세틸콜린수용체(nicotine acetylcholine receptor)에 작용하는 sulfoxaflor과 flupyradifurone도 전 조사 지역에서 우수한 살충력을 보여주었다. Sulfoxaflor의 희석 농도에서도 살충 활성 패턴은 네오니코티노이드계 3종(우수한 살충력을 보였던)과 유사하게 지역적 차이를 나타냈으나 flupyradifurone은 10배 희석농도(0.1RC)에서 지역 간 차이가 없이 모든 지역에서 높은 살충력(78% 이상)을 보였다.

스피노신(spinosyns)계 spinetoram과 항생제(antibiotics)계 emamectin benzoate는 시험한 살충제들 가운데 가장 우수한 살충력을 보여주었다. 다만, spinetoram은 전북 완주의 오이재배 포장에서 다른 지역(0.1RC에서 74~99%의 살충력)에 비하여 살충활성이 다소 낮아(RC 76%, 0.1RC 25%) 저항성이 의심된다. 그러나, emamectin benzoate는 모든 지역에서 추천농도(살충력 100%) 및 0.1RC(70%이상)에서 높은 살충력을 보였고 일부 지역에서는 0.01RC에서도 50% 이상의 살충력을 보였다. 이들 두 살충제의 약제반응 결과는 Jeong *et al.* (2020)의 결과와 일치하였다. 반면, Kim *et al.* (2021)의 결과에서 spinetoram의 저항성 발달 수준이 경기 평택 등 조사한 전 지역에서 높지 않았다는 것은 본 연구 결과와 다소 일치하였으나, emamectin benzoate의 저항성의 경우는 충북 진천, 충남 논산, 경북 영천과 제주 서귀포 집단에서 매우 높게 발달하여 본 연구 결과와 다소 차이를 보였다. Kim *et al.* (2021)은 바이알법을 이용하여 저항성 조사를 실시하였다. 바이알법은 고농도(2,800 mg L<sup>-1</sup>)의 원제를 바이알 표면에 코팅 처리하여 8시간 이내에 시험 해충의 잔류접촉 독성만으로 살충활성을 평가하는 방법인데 본 연구에서는 엽침지법을 이용하였다. 두 실험 결과의 차이는 검정법의 차이에 기인한 것으로 유추해 볼 수 있다. 또한 실제 담배가루이 성충의 emamectin benzoate에 대한 약제에 대한 반응이 잔류 독성뿐만 아니라 섭식독성 및 약효발효 시간 등의 다양한 요소들이 함께 관여한 것으로 추정된다.

곤충의 유약호르몬(juvenile hormone) 유사 구조로써 곤충생장조절제(insect growth regulator)인 pyriproxifen은 다른 종류의 약제들보다 살충활성이 낮은 지역이 비교적 많은 것으로 나타났다. 특히, 추천농도에서의 살충력이 낮았던 경기 안성(21%), 충남 논산(61%), 당진(61%), 경북 안동(56%), 경남 창녕(46%), 전북 정읍(40%) 지역에서

**Table 3.** Mortality of *Bemisia tabaci* local populations from treatment with pyrethroid (3a), neonicotinoid (4a), sufoxamin (4c), and butenolide (4d) insecticides

Local group*	Insecticide <sup>a</sup>							
	Conc. <sup>b</sup>	Etofenprox EC	Acetamiprid WP	Dinotefuran WP	imidacloprid SC	Thiamethoxam WG	Sulfoxflor WG	Flupyradifurone SL
GG_GJ	RC	51.8±4	100±0	100±0	98.3±2.9	58±23.3	100±0	100±0
	0.1RC	25.5±11.9	51.4±6.4	98.3±2.9	96.3±3.2	23.7±5	92.5±4.8	100±0
	0.01RC	19.4±7.7	21.3±2.2	59.8±8.6	75.4±9	77±6.7	90.8±5.6	73.5±3.7
GG_AS	RC	53.6±10.4	98.6±2.5	100±0	76.5±4.3	36.9±13.2	95.5±4.5	100±0
	0.1RC	16.7±8	39.2±5.8	69.2±7.5	21.2±7.8	30.7±14.5	45.9±6.2	89.1±1.9
	0.01RC	5.5±4.8	41.9±5.6	31.7±5.8	15.2±9.5	23.8±1.1	38.9±14.1	12.5±0.9
CN_NS	RC	77±8.6	100±0	98.6±2.4	96±0.3	57.5±16.7	100±0	98.3±2.9
	0.1RC	40.5±4.1	80.4±8.3	54.4±5.9	75.7±15.1	57.9±7.7	93.6±4.1	93.7±7.3
	0.01RC	22.6±6.9	61.1±12.7	52.3±0.2	65.4±4.9	48.7±5.3	85.7±1.2	40.5±10.5
CN_DJ	RC	100±0	100±0	87.3±4.9	93.1±2.5	78.3±2.9	98.6±2.5	100±0
	0.1RC	32.6±11.6	85.9±1.9	59±18.9	70.2±2.2	30.3±10.5	35.8±8.7	98.6±2.4
	0.01RC	23.5±13.2	53.4±15.1	22.9±2.6	71.4±5.4	39.2±5.2	18±6.2	32.7±13.4
GB_SJ	RC	71.1±14.7	100±0	100±0	100±0	71.7±2.9	84.3±5.7	100±0
	0.1RC	25.3±7.8	51.4±6.4	100±0	94.5±2.8	25.4±12.6	35.7±6.8	98.8±2.1
	0.01RC	11.1±5.9	21.3±2.2	100±0	84.5±2.6	13.8±1.6	27.5±13.3	79.6±9.1
GB_AD	RC	100±0	100±0	98.5±2.6	100±0	81.1±5.1	97.1±2.5	100±0
	0.1RC	17.1±8.8	19.8±6.1	25.1±12.6	85.2±6.4	17.9±7.8	44.3±3.6	93.6±5.5
	0.01RC	9.7±6.4	12.4±0.8	16.3±3.5	66.7±4.2	17±5.3	47.6±5.9	15.9±12
GN_CN	RC	45.9±7.9	100±0	81.8±8	94.9±1.4	60.2±13.9	75.7±6.6	100±0
	0.1RC	25.8±5.3	31.4±11.9	34.4±14.1	85.5±3.9	41.8±10.1	30±9.6	81.4±8.2
	0.01RC	13.6±2.7	45.1±6.7	21.7±7.6	69.6±3.2	27.1±1.2	25.2±7.3	37.8±9.4
GN_JJ	RC	100±0	74.3±12.4	100±0	100±0	75.5±11.2	82.8±11.2	100±0
	0.1RC	20.4±14.1	17.7±0.5	100±0	100±0	21.5±14.5	28.5±16.5	100±0
	0.01RC	22.2±15.6	10.7±3.1	100±0	100±0	27.1±13.1	17.8±15.9	100±0
JB_WJ	RC	88.2±3.3	100±0	91±9.1	85.8±12.4	59.3±21.6	90.9±9.1	100±0
	0.1RC	20.1±4.8	36.3±11.5	44.4±9.8	28±13.7	22.2±11	29±6.3	78.5±17.6
	0.01RC	20.4±5.9	9.3±4.9	21.8±9.7	16±9.1	12.6±3.1	12.9±4.4	15.9±5.6
JB_JE	RC	100±0	98.4±2.7	92.8±9.1	96.2±6.7	47.8±17.1	94.5±6.4	100±0
	0.1RC	30.7±6.3	26.7±5.7	28.2±11.1	66.1±10.8	14.7±1.3	53±17	88.4±6.7
	0.01RC	11.8±7.7	7.4±3	28.8±4.2	65.9±13.8	11.9±4.8	43.7±12.5	41.1±10
JN_SC	RC	63.9±7.1	100±0	97.4±4.4	98.4±2.7	52.7±9.5	100±0	100±0
	0.1RC	43.9±7.4	25.4±11.6	64.4±10.8	88.7±3.1	31.4±12.1	87.9±7.2	92.7±5
	0.01RC	39.1±3.8	13±10.9	55.4±1.5	76.4±3.5	20.2±3.1	81.8±6.8	35.3±7.3
JN_GH	RC	66.2±6	100±0	95.3±5	100±0	86.7±12.6	95.8±0.5	100±0
	0.1RC	23.1±10.8	100±0	46.6±18.4	58.9±16.4	50±16.4	26.3±9.2	97.2±2.4
	0.01RC	22.3±4.1	17.7±7.1	37.7±8.8	51.6±10.9	33.4±6.6	14.2±5.8	23.2±5.2

<sup>a</sup>EC, Emulsifiable concentrate; WP, Wettable powder; SC, Suspension concentrate; WG, Water dispensable granule; SL, Soluble concentrate.

<sup>b</sup>RC: Recommended concentration for *Bemisia tabaci* control.

\*Detailed information on the local group can be found in Table 1.

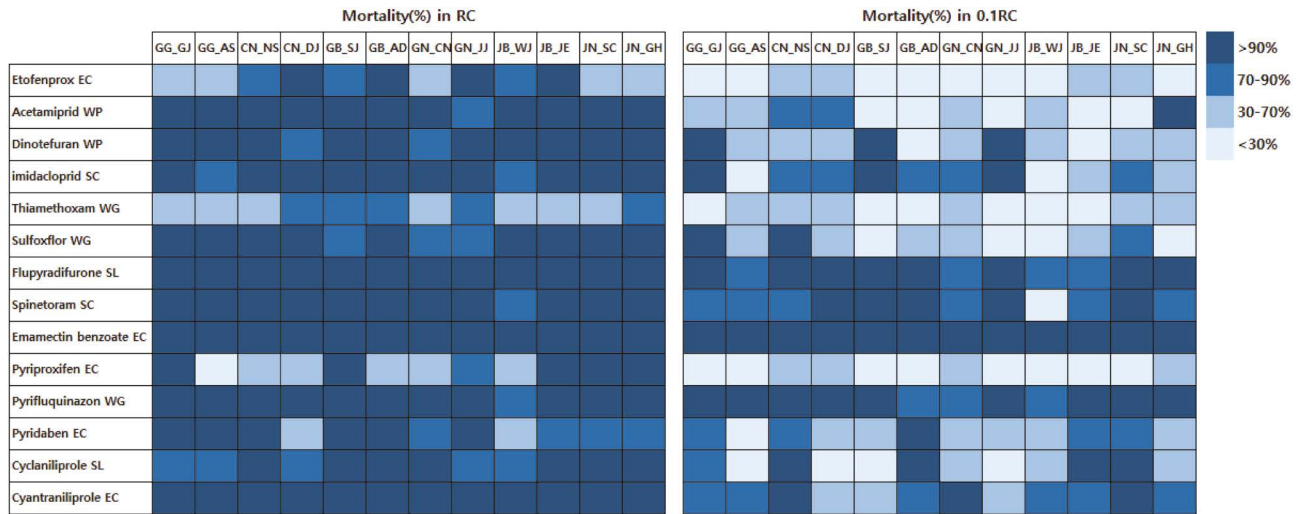
**Table 4.** Mortality of *Bemisia tabaci* local populations from treatment with spinosyn (5), avermectin (6), IGR (7a), pyridine azomethine (9b), pyridazinone (21a) and diamide (28) insecticides

Local group*	Insecticide <sup>a</sup>							
	Conc. <sup>b</sup>	Spinetoram SC	Emamectin benzoate EC	Pyriproxifen EC	Pyrifluquinazon WG	Pyridaben EC	Cyclaniliprole SL	Cyantraniliprole EC
GG_GJ	RC	98.7±2.3	100±0	100±0	81.1±0.8	93±8.6	96.8±5.5	98.6±2.5
	0.1RC	87.9±2.6	98.6±2.5	12.5±3	80.9±1.7	89.4±3.9	95.2±0.2	86.6±7.6
	0.01RC	45.4±6.3	51.9±7.3	14.8±8.5	77.1±0.9	22.8±13.8	17.4±2.1	9.8±3.4
GG_AS	RC	98.4±2.7	100±0	20.8±7.3	100±0	90.1±6.7	89.7±5.1	100±0
	0.1RC	84.5±2.3	100±0	21.6±3.4	100±0	22.5±9.4	19.4±9.1	72.7±7.2
	0.01RC	13.1±3.3	74.5±7.2	23.3±7.4	86.9±14.6	18.1±6.5	17±6	18.6±9.2
CN_NS	RC	93.7±11	100±0	61.4±11.4	100±0	98.3±2.9	100±0	100±0
	0.1RC	86.7±5.7	100±0	44.5±7.3	98.3±2.9	89.6±6.3	100±0	90.9±4.8
	0.01RC	33.6±7.7	55.2±7.4	45.3±5	89.4±2.6	61.7±14.4	69.5±13.9	63.1±8.5
CN_DJ	RC	100±0	100±0	61.2±5.4	100±0	61±5.2	87.9±9.5	93.7±7.3
	0.1RC	90.5±4.5	100±0	52.7±3.4	100±0	43.7±3.4	10.9±6.9	31.1±5.4
	0.01RC	60.7±19.2	69.7±12.7	44.4±12.4	94±6.6	14.2±4.6	16.8±3.7	16.8±3.2
GB_SJ	RC	100±0	100±0	100±0	97.2±2.4	98.4±2.7	98.5±2.6	100±0
	0.1RC	82.8±7.7	100±0	27.5±8.3	84.8±2.7	97±2.6	39.5±10.7	69.2±13.8
	0.01RC	30.6±16.8	75.8±10.1	23.8±6.9	58.1±4.8	89.2±10.3	13.5±4.7	32.3±9.1
GB_AD	RC	100±0	100±0	56.3±13.8	93.9±5.4	100±0	100±0	98.3±2.9
	0.1RC	98.7±2.3	100±0	15.5±6.8	75.6±13.6	93.1±0.2	94.1±6.6	79.5±7.2
	0.01RC	37.9±12.4	46.8±9.5	15.2±4.9	19.1±10.2	15.7±8	50.9±15.2	12.6±4.9
GN_CN	RC	98.5±2.6	98.6±2.4	46±20.5	91.6±6.5	78.7±6.1	97.7±4	100±0
	0.1RC	80.2±11.2	96.2±0.1	42.4±9	86.5±9	66.2±8.7	43.6±19	94.4±6.7
	0.01RC	33.7±8.5	60.9±8.7	29.1±7.3	53.7±13.1	43.8±5.5	34±8.8	31.2±9.2
GN_JJ	RC	98.7±2.2	98.7±2.2	76±9.3	98.7±2.2	90.2±10	73.8±17.7	98.6±2.5
	0.1RC	90.8±5	97.1±2.5	28.1±4	97.2±2.4	40.9±10.7	8±6.4	46.4±10.7
	0.01RC	65.2±10.8	51.9±16.9	25.4±1.8	85.4±10	33.2±13.2	4.2±4.2	20±5.4
JB_WJ	RC	76±16	100±0	39.6±6.7	88.1±11.4	65.4±4.7	86.1±12.2	97.1±5
	0.1RC	25±18.6	100±0	20.7±8.1	85.8±5.9	33±18.6	34.5±16.3	74.6±3.3
	0.01RC	15.3±12.5	75.5±8.3	19.3±8	42.9±12.2	12.9±3	16±7.1	23.7±5
JB_JE	RC	100±0	100±0	100±0	96.9±2.7	86.9±6.8	100±0	98.3±2.9
	0.1RC	80.9±5.8	100±0	22.1±13.1	90.1±3.7	71±1.3	98.4±2.7	79.5±7.2
	0.01RC	22.3±3.9	47.7±11.4	11.9±4.6	68.1±7.9	25.5±13.4	14.8±6.3	12.6±4.9
JN_SC	RC	100±0	100±0	100±0	100±0	86.5±6.1	100±0	100±0
	0.1RC	95.5±4.5	97±5.2	22.2±4.9	94.5±2.8	80.8±5	95.4±4.8	90.8±5
	0.01RC	21.5±3.4	68.4±0.5	17±3.2	68.6±7.7	44.1±20.7	25.3±9.4	33.5±12.8
JN_GH	RC	98.6±2.5	100±0	98.5±2.6	100±0	80.9±12.3	91.2±4.3	100±0
	0.1RC	74.8±15.3	98.4±2.7	50±2.2	98.4±2.7	50±7.1	32.7±1	73.5±5.7
	0.01RC	15.4±5.4	81.2±7.5	24.7±7.2	98.7±2.2	30.6±14.9	15.2±9	42.1±12.6

<sup>a</sup>EC, Emulsifiable concentrate; SC, Suspension concentrate; WG, Water dispensable granule; SL, Soluble concentrate.

<sup>b</sup>RC: Recommended concentration for *Bemisia tabaci* control.

\*Detailed information on the local group can be found in Table 1.



**Fig. 1.** Heatmap showing the mortality of *Bemisia tabaci* populations at each insecticide concentration. RC, recommended concentration; 0.1RC, 10-fold RC dilution. Detailed information about abbreviated local groups can be found in Table 1.

는 저항성이 높게 발현되고 있음을 알 수 있었다.

곤충의 척삭기관(chorodontonal organ)에 작용하여 신경 반응과 근육의 운동을 저해하는 살충제인 pyri-fluquinazon은 emamectin benzoate와 더불어 담배가루이 지역집단에 가장 우수한 살충력을 보여주었다. 대부분 지역집단에 대하여 추천농도에서 90% 이상, 0.1RC에서 70% 이상의 살충력을 보였으며, 0.01RC에서도 30% 이상의 살충력을 보여 저항성이 거의 발달하지 않은 것으로 판단되었다.

충남 당진(61%)과 전북 정읍(65%)지역을 제외하고 pyridaben은 디아마이드(diamide)계 살충제인 cyclaniliprole 및 cyantraniliprole과 함께 전반적으로 지역에 상관 없이 추천농도의 살충력이 높게 나타났으며, 이는 Jeong *et al.* (2020)의 결과와도 크게 차이를 보이지 않았다. 다만, 경기 안성, 충남 당진, 경북 상주, 경남 창원, 진주, 전북 완주 및 전남 고흥지역은 0.1RC에서 50% 이하의 살충력을 보여 향후 저항성 발달 가능성이 높아 사용에 있어 주의가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 조사 지역집단들은 안성집단(노지 콩)을 제외하고는 대부분의 시설재배 채소에서 채집한 것들로 재배작물에 따른 약효반응의 경향성은 발견되지 않았다. 이는 재배작물에 따른 살충제의 노출 패턴이 유사하기 때문인 것으로 추정된다. 고추, 참외, 오이, 토마토 등은 담배가루이뿐 아니라 총채벌레, 진딧물 등의 해충도 많이 발생하여 작기 중에 살충제에 대한 노출이 잦은 작물들이다. 또한

사용하는 살충제들도 이 해충들에 대하여 복수 등록되어 있다(RDA 2023). 따라서 시설재배 해충의 저항성 및 약효 반응은 재배 작물에 따른 경향보다는 지역에 따른 살충제의 사용량과 사용빈도에 대한 정보를 검토하여 살펴보는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

### 3.2. 지역별 담배가루이 관리를 위한 약제 선발

본 연구에서는 담배가루이 성충에 대한 약제들의 추천농도 및 0.1RC, 0.01RC에서의 살충력 조사를 통해 방제약제들의 약효 수준을 살펴보았다. 어느 지역 해충집단에 대한 약효가 다른 집단과 차이를 보이는 이유는 저항성의 발달수준의 차이가 가장 크게 작용한다(Sparks and Nauen 2015). 약제저항성은 어떤 해충 집단이 높은 살충활성을 보이던 약제 농도에서 더 이상 기대하는 살충력을 보이지 않게 되는 현상을 말한다(IRAC 2007). 살충제 처리가 도태압으로 작용하여 해충집단 내에 감수성 개체수를 감소시키고 저항성 개체수를 증가시키는 것으로써 감수성 개체군 대비 시험개체군의 살충력에 차이로 확인된다. 따라서, 약제저항성 수준은 상대적인 개념이라고 할 수 있다(Stanley 2014). 약제가 저항성 발달이 관찰되었다고 하여 농업현장에서 실제로 약효가 없다고 쉽게 판단할 수 없다. 더구나 사용자 입장에서는 저항성 유무보다는 사용하고 있는 약제의 약효(방제력) 유무, 즉 약제의 처리로 해충으로부터 작물의 피해를 막을 수 있는지 여부에 더 관심을 갖고 있다.

본 연구에서는 추천약량에서의 살충력을 검증하였으며, 이 검증은 저항성 진단법의 하나로 제시되는 단일농도진단법(single discriminating dose approach) (Roush and Miller 1986; Stanley 2014; Jeon *et al.* 2017)과 유사하고 진단농도를 별도로 설정하지 않고 추천약량을 진단농도로 대체한 것에서 차이가 있다. 추천약량에서의 살충력 자료를 통해 현재 약효 유무에 대한 정보를 신속히 파악하여 농민에게 전달할 수 있고, 나아가 희석농도에서의 살충력 검정을 통해 잠재된 살충력의 지역 간의 차이 즉 저항성 발달의 차이를 간접적으로 유추하여 향후 살충제 약효 감소에 대비할 수 있을 것이다.

국내에서 농약의 약효평가는 일반해충(담배가루이 포함)의 경우, 방제가 90% 이상을 보일 때 신규 살충제로 품목등록을 할 수 있다(RDA 2021). 따라서 본 연구에서는 상기 약효평가 기준에 기초하여 검증 결과에 따른 살충제의 약효수준을 분류해 보고자 하였다. 추천농도(RC)에서 살충력이 90% 이상이면 우수한 약제로 분류하고 그 가운데 희석농도(0.1RC)에서도 70% 이상의 활성을 갖고 있으면 매우 우수한 약제로, 희석농도에서 급격히 활성(30% 이하)이 낮거나 주변 지역에서 높은 저항성을 보이는 약제는 저항성 관리를 위하여 사용상 주의가 필요한 약제로 재분류하였다. 추천 농도에 70~90% 살충력을 보이면 약효 발현이 주변 상황에 영향을 받을 수 있기에 주의가 필요한 약제로 분류하고, 추천 농도에서의 살충력이 70% 이하는 약효가 낮을 가능성이 높아 사용하지 않은 것이 바람직한 약제로 분류해 보았다(Fig. 1).

따라서, 경기 지역(광주, 안산)에서는 etofenprox, thiamethoxam과 pyriproxifen은 사용을 피하고, imidacloprid 등 네오니코티노이드계와 cyclaniliprole은 주의하여 사용하는 것이 바람직하며, flupyradifurone, spinetoram, emamectin benzoate, pyrifluquinazon과 cyantraniliprole을 높은 약효를 보여 사용상 큰 문제가 없는 약제들이라 할 수 있었다. 이와 마찬가지로 충남지역(논산, 당진)은 thiamethoxam, pyriproxifen, pyridaben의 약효가 매우 낮고 etofenprox, dinotefuran도 약효가 낮아 사용에 주의가 필요하며, 경북지역(상주, 안동)은 etofenprox, thiamethoxam 및 sulfoxaflor 3종 약제에 대해 주의가 필요하고, 경남지역(창녕, 진주)은 etofenprox와 thiamethoxam, pyriproxifen, acetamiprid, dinotefuran, imidacloprid, sulfoxaflor, pyridaben cyclaniliprole 등은 사용상 주의가

필요한 약제들이었다. 전북(완주, 정읍)과 전남(순천, 고흥)도 시설재배가 많은 지역으로 경기도나 경남지역처럼 저항성으로 인한 낮은 약효를 보이는 약제들이 많았다. 특히, etofenprox는 전남지역에서, thiamethoxam은 전북(완주, 정읍)과 전남 순천에서, pyrifloxifen과 pyridaben은 전북 완주지역에서 매우 낮은 약효를 보여주었으며, 네오니코티노이드계 살충제도 주의가 필요한 것으로 분류되었다.

이상에서 우리는 담배가루이 지역집단들에 대한 살충제의 약제반응을 살펴보았다. 막명높은 침입종의 하나인 담배가루이는 우리나라에 비교적 최근에 침입하였으나 빠르게 전국적으로 확산하였으며, 방제에 있어서 화학적 살충제에 대한 의존도가 높아 등록된 살충제만도 258개 품목에 778개 제품들이 있다(RDA 2023). 그럼에도 불구하고 농업현장에서는 어떠한 약제의 사용이 적절한지에 대한 민원이 매우 많은 편이다. 본 연구에서는 작용기작별로 사용량이 많은 약제를 대상으로 약효검정을 실시하였으며, 저항성 발달로 인하여 주의하여 사용해야 하는 약제와 효과가 우수한 약제의 정보를 제공하였다. 이러한 정보는 영농현장에서 담배가루이 약제 방제효율을 극대화하고, 나아가 저항성 발달로 인한 불필요한 약제 사용을 줄여서 농약의 사용량 절감에도 기여할 것으로 생각된다.

## 적 요

침입해충인 담배가루이(*Bemisia tabaci* Gennadius)의 12개 지역집단에 대하여 살충제 14종의 추천농도(RC, recommended concentration)와 추천농도의 10배(0.1RC), 100배(0.01RC) 희석농도에서의 살충력(mortality)을 엽침지법을 이용하여 조사하였다. Etofenprox, thiamethoxam, pyriproxifen, pyridaben 등 4종을 제외한 대부분의 살충제들은 추천농도(RC)에서 70%에서 100%의 우수한 살충력을 보였고, 특히 flupyradifurone, emamectin benzoate, cyantraniliprole은 모든 조사 지역에서 90% 이상의 높은 살충력을 보였다. 낮은 살충력을 보인 지역집단은 etofenprox의 경우 경기 광주(52%)와 안성(54%), 경남 창녕(46%), 전남 순천(64%)과 고흥(66%) 지역이었으며, thiamethoxam은 경기 광주(58%), 안성(37%), 충남 논산(58%), 경남 창녕(60%), 전북 완주(59%), 정읍(48%), 전남 순천(53%) 지역이었고, pyriproxifen은 경기 안성



(21%), 충남 논산(61%), 당진(61%), 경북 안동(56%), 경남 창원(46%), 전북 정읍(40%) 지역 그리고, pyridaben은 충남 당진(61%)과 전북 정읍(65%) 지역이었다. 또한 희석 농도에서 급격히 활성(30% 이하)이 낮아지거나 주변 지역에서 높은 저항성을 보이는 약제들은 저항성 발달 가능성이 높아 지역에 따라 주의가 필요한 약제로 분류하였다. 본 결과를 통하여 지역별 우수한 약제들을 선별할 수 있었으며 이들 약제반응 정보를 활용하면 영농현장에서 살충제의 남용은 줄고 담배가루이 방제효율이 증대될 것으로 기대된다.

### CRedit authorship contribution statement

**IH Jeong:** Methodology, Conceptualization, Writing-Original draft. **L Kim:** Investigation, Data analysis, Writing-Review & editing. **SH Kim:** Writing-Review & editing. **JH Lee:** Investigation, Writing-Review & editing. **KA Yoon:** Writing-Review & editing. **SH Lee:** Conceptualization, Supervision.

### Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

### 사 사

본 논문은 환경부의 재원으로 농촌진흥청의 생물다양성위협 외래생물관리기술개발사업(과제번호: RS-2021-RD009881)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부입니다.

### REFERENCES

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18:265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Abd-Rabou S and AM Simmons. 2010. Survey of reproductive host plants of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Egypt, including new host records. *Entomol. News* 121:456–465. <https://doi.org/10.3157/021.121.0507>
- Ahmad M, MI Arif and M Naveed. 2010. Dynamics of resistance to organophosphate and carbamate insecticides in the cotton whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Pakistan. *J. Pest Sci.* 83:409–420. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0311-8>
- Chen W, DK Hasegawa, N Kaur, A Kilot, PV Pinheiro, J Luan, MC Stensmyr, Y Zheng, W Liu, H Sun, Y Xu, Y Luo, A Kruse, X Yang, S Kontsedalov, G Lebedev, TW Fisher, DR Nelson, WB Hunter, JK Brown, G Jander, M Cilia, AE Douglas, M Ghanim, AM Simmons, WM Wintermantel, KS Ling and Z Fei. 2016. The draft genome of whitefly *Bemisia tabaci* MEAM1, a global crop pest, provides novel insights into virus transmission, host adaptation, and insecticide resistance. *BMC Biol.* 14:110–124. <https://doi.org/10.1186/s12915-016-0321-y>
- Guo CL, IH Jeong, D Chu and YZ Zhu. 2022. First report of the invasion of Q2 subclade of *Bemisia tabaci* MED in South Korea as revealed by extensive field investigation. *Phytoparasitica* 50:91–100. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00946-4>
- Horowitz AR, S Kontsedalov, V Khasdan and I Ishaaya. 2005. Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 58:216–225. <https://doi.org/10.1002/arch.20044>
- IRAC. 2007. Resistance Management for Sustainable Agriculture and Improved Public Health. Insecticide Resistance Action Committee. CropLife International AISBL. Brussels, Belgium. p. 6.
- IRAC. 2023. Test Method Library. Insecticide Resistance Action Committee. <https://irac-online.org/test-methods/test-method-library/>. Accessed July 15, 2023.
- Jeon SW, B Park, SK Park, SK Lee, HJ Ryu, SB Lee and IH Jeong. 2017. Establishment of discriminating concentration based assessment for insecticide resistance monitoring of palm thrips. *Korean J. Environ. Biol.* 35:557–565. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2017.35.4.557>
- Jeong IH, B Park, GS Lee, Q Wu, F Li, Z Zhang and Y Zhu. 2020. Comparison of B and Q biotype distribution, insecticidal mortality, and TYLCV viruliferous rate between Korean and Chinese local populations of *Bemisia tabaci*. *Korean J. Environ. Biol.* 38:616–624. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.4.616>
- Kim S, SJ Kim, S Cho and SH Lee. 2021. Insecticide resistance monitoring of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 60:167–173. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.12.0.082>
- Lee ML, SB Ahn and WS Cho. 2000. Morphological characteristics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and discrimination of their biotypes in Korea by DNA Markers. *Korean J. Appl. Entomol.* 39:5–12.

- Lee SW, SG Lee, JJ Kim, CK Park, HH Park, KH Kim and BY Choi. 2010. Neoniconoid resistance of *Bemisia tabaci* local populations and its clustering analysis. p. 63. In: Proceedings of Spring Symposium of The Korean Society of Pesticide Science. Yesan, Korea.
- Lee W and GS Lee. 2017. Reassessment of the taxonomic status of the *Bemisia tabaci* complex (Hemiptera: Aleyrodidae) based on mitochondrial COI gene sequences. Korean J. Appl. Entomol. 52:107–120. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2016.11.0.076>
- Lee W, J Park, GS Lee, S Lee and S Akimoto. 2013. Taxonomic status of the *Bemisia tabaci* complex (Hemiptera: Aleyrodidae) and reassessment of the number of its constituent species. PLoS One 8:e63817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063817>
- Luo C, CM Jones, G Devine, F Zhang, I Denholm and K Gorman. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. Crop Prot. 29:429–434. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.001>
- Nauen R, N Stunpf and A Elbert. 2002. Toxicological and mechanistic studies on neonicotinoid cross resistance in Q-type *Bemisia tabaci* (Hemiptera : Aleyrodidae). Pest Manag. Sci. 58:868–875. <https://doi.org/10.1002/ps.557>
- Navas-Castillo J, E Fiallo-Olivé and S Sánchez-Campos. 2011. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. Annu. Rev. Phytopathol. 49:219–248. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095235>
- Perring TM. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Prot. 20:725–737. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00109-0)
- RDA. 2021. Criteria for registion of pesticides and active substances attach 3. pp. 228–241. In: Pesticide Control Act, Notices and Instructions (RDA Agro-Material Industry Division, eds.). Rural Development Administration. Jeonju, Korea.
- RDA. 2023. Pesticide Safety Information System. Rural Development Administration. <https://psis.rda.go.kr/psis/index.ps>. Accessed July 15, 2023.
- Roush RT and GL Miller. 1986. Considerations for design of insecticide resistance monitoring programs. J. Econ. Entomol. 79:293–298. <https://doi.org/10.1093/jee/79.2.293>
- Sparks TC and R Nauen. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. Pest. Biochem. Physiol. 121:122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Stanley BH. 2014. Monitoring resistance. pp. 485–513. In: Insecticide Resistance Management. Biology, Economics, and Prediction (Onstad DW, ed.). Second Edition. Academic Press. London, United Kingdom.
- Wang R, JD Wang, WN Che and C Luo. 2018. First report of field resistance to cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* MED in China. J. Interg. Agric. 17:158–163. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61613-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61613-1)
- Wang R, W Che, J Wang and C Luo. 2020. Motoring insecticide resistance and diagnostic of resistance mechanisms *Bemisia tabaci* Mediterranean (Q bitotype) in China. Pestic. Biochem. Physiol. 163:117–122. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.11.003>