



## ORIGINAL ARTICLES

## 오이시설에서 발생하는 담배가루이(*Bemisia tabaci*)에 대한 8종 살충제의 저항성 평가

김명환<sup>1</sup> · 권태영<sup>1</sup> · 신승민<sup>1</sup> · 이희수<sup>1</sup> · 최은영<sup>1</sup> · 최종봉<sup>1</sup> · Sodavy Gnim<sup>1</sup> · 이동운<sup>1,2,3\*</sup> · 박종균<sup>1,2,3\*</sup><sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>경북대학교 곤충생명과학과, <sup>3</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소

### Evaluation of Resistance to 8 Insecticides of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Collected from Cucumber Greenhouses in Korea

Myeonghwan Kim<sup>1</sup>, Taeyong Kwon<sup>1</sup>, Seungmin Shin<sup>1</sup>, Hee Soo Lee<sup>1</sup>, Eun Young Choi<sup>1</sup>,  
Jong Bong Choi<sup>1</sup>, Sodavy Gnim<sup>1</sup>, Dong Woon Lee<sup>1,2,3\*</sup>, Jong Kyun Park<sup>1,2,3\*</sup><sup>1</sup>Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea<sup>2</sup>Department of Entomology, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea<sup>3</sup>Research Institute of Invertebrate Vector, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea

(Received on November 13, 2024. Revised on December 11, 2024. Accepted on December 11, 2024)

**Abstract** In this study, 8 types of registered insecticides (Cyantraniliprole, Dinotefuran, Flonicamid, Fluxametamide, Milbemectin, Pyridaben, Pyriproxyfen Spinetoram) with high usages and different mode of action was selected and tested for insecticidal activity and resistance against *Bemisia tabaci* collected from cucumber greenhouse in 15 regions of Korea. Resistance evaluation was conducted using the resistance ratio (RR) and control efficacy index (CEI). Results showed that various insecticide responses were observed between regions and insecticides, and there were also interactions. While the RR and CEI values generally showed similar trends, the RR (2.5) and CEI (189.0) values were in the flonicamid treatment of the Gurye population, showing a difference. Pyriproxyfen showed the highest RR (272.7) and CEI (342.0) values for the Gunwi population. These findings serve as basic data for understanding the resistance development patterns of *Bemisia tabaci* populations in Korea and can contribute to establishing localized pest management strategies for cucumber cultivation regions.

**Key words** Bioassay, Control efficacy index, Insect pest control, Pesticide, Susceptibility

## 서 론

대표적인 난방제 해충인 담배가루이는 온실과 같이 고온 다습한 실내환경에서 발생하고(Kim et al., 2021; Naveen et al., 2017; Wagner, 1995), 전세계적으로 심각한 경제적 피해를 입히는 농업 해충의 하나이다(Abubakar et al., 2022). 담배가루이는 흡즙성 해충으로 약 600여종 이상의 식물에 피해를 주는 광식성 해충이다(Firdaus et al., 2013; Kim et al.,

2007; Oliveira et al., 2001).

알을 제외한 모든 발달단계에서 작물에 생육억제, 잎 변색 등의 직접적인 피해를 일으키며 감로를 배설하여 그을음병을 유발하고, 100여 종 이상의 바이러스를 매개하는 등 간접적인 피해를 발생시킨다(Bedford et al., 1994; Brown et al., 1995; Hogenhout et al., 2008; Jones, 2003; Kim et al., 2007; Rubinstein et al., 1999). 담배가루이로 인한 각종 작물에 경제적 피해가 심각함에 따라 담배가루이가 발생하는 작물에서는 방제를 위해 다양한 방법이 사용되고 있다. 비화학적 방제로는 식물성 정유나 친환경 유기농 자재를 개발하여 사용하고 있으며, 곤충병원성 곰팡이와 같은 병원미

\*Corresponding author

E-mail: whitegrub@knu.ac.kr and entopark@knu.ac.kr

생물을 이용한 방제 등에 대한 연구가 주를 이루고 있다 (Isman et al., 2011; Jeong et al., 2010; Lee et al., 2017). 또한 Lee et al. (2017)은 끈끈이 트랩의 색상 차이를 통한 방제효과에 대하여 연구하였는데, 유인으로 인해 성충의 밀도 감소에 영향을 미치지 않지만 실제적 방제 효과는 제한적이었다. 그러나 실제 농업현장에서 끈끈이 트랩은 해충 발생을 확인하고 정확한 방제를 진행하기 위한 방안으로 주로 이용되고 있으며 (Song et al., 2014), 친환경 유기농 자재도 마찬가지로 주요 방제 전략의 일환으로 사용되기 보다는 보완적인 용도로 이용이 되고 있는 실정이다. 그 외에 유인 식물을 이용한 방안이 연구되었으며, 또한 국내 유관기관에서는 방제 대책으로 농약의 적합한 사용 즉, 효과적인 화학적 방제 방법에 대하여 안내하고 있으며, 이는 해충 방제를 위해서 결국 살충제를 이용한 화학적 방제 방법이 주로 이용되고 있는 것을 의미한다 (Kim et al., 2000).

담배가루이는 전세계적으로 MEAM1 (Middle East-Asia Minor1, biotype B) 및 MED (Mediterranean, Biotype Q) 계통 등 40종 이상의 잠재종과 이들의 약제 저항성이 보고되고 있으며 (Guo et al., 2022; Horowitz et al., 2003; Kanakala and Ghanim 2019; Kontsedalov et al., 2012; Pan et al., 2011; Perring, 2001; Wang et al., 2020), 우리나라에서는 1998년 충북 진천에서 처음으로 보고되었으며 온도와 기주작물에 따라 발육과 생식이 다르지만 온온환경에서 발생세대기간이 짧아 단기간 내 전국적으로 확산되었다 (Ahn et al., 2001; Kim et al., 2021; Lee et al., 2000). 이에 따라 살충제의 사용빈도가 증가하는 결과를 가져왔으며, 이러한 살충제의 과도한 사용과 오남용으로 약제 저항성 발달의 가속화를 초래하였다 (Lee et al., 2012). 담배가루이에 대한 저항성 연구는 활발하게 이루어지고 있는데, Yao et al. (2017)은 2005년부터 2014년까지 중국 Fujian 지역의 담배가루이 저항성에 대한 연구에서 neonicotinoids 계통에 대한 저항성이 지속적으로 증가하고 있다고 보고하였으며, 스페인에서는 spiromesifen과 spirotetramat에 대한 저항성 연구에서 높은 수준의 저항성을 확인하였다 (Bielza et al., 2019). 우리나라의 담배가루이에 대한 저항성 관련 연구는 2000년도 초반 형태적 특징과 biotype에 관하여 연구된 것을 시작으로 시판 약제에 대한 약제 감수성 연구가 이루어졌다 (Kim et al., 2000; Lee et al., 2000). 최근까지 여러 지역에서 담배가루이에 대한 발생, biotype 그리고 약제반응 등이 연구되어져 왔으며 (Kim et al., 2007; Lee et al., 2012) 2020년에는 7개도 12개 지역의 오이, 토마토, 호박, 고추재배지에서 작용기작이 다른 5종의 살충제에 대한 저항성 모니터링을 성충을 이용하여 수행한 바 있는데 organophosphate와 pyrethroid계 약제에 대한 저항성 집단연변이가 포화 상태에 있음을 보고하였다 (Kim et al., 2021).

우리나라의 대표적인 시설 과채류로는 수박, 참외, 딸기,

오이, 호박, 토마토 등이 있는데 호박과 오이만이 꾸준히 재배 면적의 증가세를 보이는 주요 작물 중 하나이다 (KOSIS, 2023). 이러한 시설오이에서 담배가루이는 심각한 경제적 피해를 야기하는 해충으로 저항성 관리를 위해서는 시설오이에서 사용되는 다양한 농약에 대한 저항성 모니터링이 필수적이다.

오이 담배가루이에 등록되어 있는 다양한 계통의 살충제들 중 작용기작이 다르고 사용량이 많은 약제를 중심으로 전국단위의 시설오이 재배지에서 발생하는 담배가루이에 대한 약제 반응을 연구하였으며, 본 연구를 통해 오이재배지 담배가루이의 저항성 발달 양상을 이해하고 저항성 관리 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험 곤충 사육

지역계통 담배가루이는 2022년과 2023년 국내 시설 오이 재배지 15개 지역에서 채집하였으며 (Table 1), 채집된 담배가루이는 아크릴상자(35 × 35 × 50 cm, 자체제작) 및 미세천상자(70 × 50 × 56 cm, 자체제작)에서 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* var. *humilis*)을 기주로 2세대 이상 누대 사육하여 실험에 이용하였다. 본 연구에서 이용한 LAB계통은 감수성 계통으로 2023년 국립농업과학원 곤충사육실에서 10년 이상 약제 무처리 상태로 누대사육을 해온 담배가루이를 분양받아 지역계통과 동일한 사육 환경에서 분리 사육하였다. 또한 모든 개체는 온도 27 ± 2°C, 상대습도 50 ± 5%, 광주기 16 : 8 (L : D)의 조건에서 사육하였다.

**Table 1.** Information of *Bemisia tabaci* populations which collected from field populations

Collection site (abbreviation)	Collection date	GPS coordinates
Gunwi (GW)	22.05.17	36°14'02"N 128°35'35"E
Sangju (SJ1)	22.09.21	36°32'58"N 128°08'57"E
Haman (HA)	22.05.18	35°20'10"N 128°30'14"E
Cherwon (CW)	23.10.05	38°13'30"N 127°15'28"E
Chuncheon (CC)	22.09.29	37°44'51"N 127°40'20"E
Yanggu (YG)	22.09.29	38°05'15"N 128°01'21"E
Anseong (AS)	23.06.28	37°00'55"N 127°18'16"E
Pyeongtaek (PT)	23.09.07	37°06'13"N 127°02'10"E
Yangju (YJ)	23.09.13	37°49'51"N 126°59'46"E
Sejong (SJ2)	22.10.05	36°33'49"N 127°17'30"E
Okcheon (OC)	22.05.31	36°22'26"N 127°43'48"E
Cheonan (CA)	23.08.02	36°45'45"N 127°15'01"E
Suncheon (SC)	23.06.15	34°53'54"N 127°20'37"E
Gokseong (GS)	23.06.15	35°15'09"N 127°07'55"E
Gurye (GR)	23.08.02	35°11'50"N 127°27'39"E

**Table 2.** Insecticides used in this study

Chemical class	Insecticide	Formulation <sup>a)</sup>	A.I <sup>b)</sup> (%)	RC <sup>c)</sup> (ppm)	Mode of action <sup>d)</sup>
Flonicamid	Flonicamid	WG	50.0	50.0	29
Meta-diamides	Fluxametamide	EW	4.5	45.0	30
Spinosyns	Spinetoram	SC	5.0	25.0	5
Diamides	Cyantraniliprole	DC	5.0	50.0	28
Neonicotinoids	Dinotefuran	SG	50.0	100.0	4a
METI insecticides	Pyridaben	WP	20.0	200.0	21a
Milbemycins	Milbemectin	WP	2.0	10.0	6
Pyriproxyfen	Pyriproxyfen	SC	10.0	50.0	7c

<sup>a)</sup>WG; Water dispersible granule, EW; Emulsion oil in water, SC; Suspension concentrate, DC; Dispersible concentrate, SG; Water soluble granule, WP; Wettable powder

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

<sup>c)</sup>RC; Recommended concentration

<sup>d)</sup>IRAC (2024)

**시험약제 선발**

본 연구에서 사용한 살충제는 오이 담배가루이에 등록되어 국내에서 시판되고 있는 약제를 선발하였으며, 계통별로 Flonicamid계 1종(Flonicamid), META-DIAMADE계 1종(Fluxametamide), Spinosin계 1종(Spinetoram), Diamad계 1종(Cyantraniliprole), Neonicotinoids계 1종(Dinotefuran), METI Insecticide계 1종(Pyridaben), Abamectin계 1종(Milbemectin), Pyriproxyfen계 1종(Pyriproxyfen)등 8종의 계통(IRAC, 2024)이 다른 약제를 사용하였는데(Table 2), 시중의 농약 판매상에서 구입하여 사용하였다.

**담배가루이에 대한 생물 검정 및 저항성 평가 방법**

담배가루이의 생물검정 방법은 IRAC에서 제시하는 검정법(IRAC, 2009; IRAC, 2016) 및 선행연구(Bielza et al., 2019; Cuthbertson et al., 2009; Fernández et al., 2009)를 참고하여 실험을 수행하였다.

실험은 엽침지법(leaf dipping method)으로 수행하였으며, 담배가루이가 생육중인 잎을 30초간 침지 후 45분간 사육실과 동일한 조건에서 음건한 후 insect breeding dish (10 × 4 cm, SPL #310102, Korea)에 여과지(Ø 9 cm, HYUNDAI Micro, Korea)를 깔고 증류수로 적셔주었다. 침지한 잎은

insect breeding dish에 넣을 수 있는 크기로 잎을 자르고, 절단 부위는 증류수에 적신 솜을 올려 수분을 유지시켜 주었다.

실험은 1차적으로 각 약제의 권장량을 기준으로 추천농도와 추천농도의 2배, 추천농도의 1/2배 농도에서 기본 농도에 대한 약제 반응을 평가하고, 1차 실험의 결과를 기반으로 반수치사약량을 구하는 2차 실험을 수행하였다.

모든 실험에서 IGR계통인 피리프록시펜은 알을 이용하여 실험을 수행하였으며, 나머지 7종의 약제는 2령 약충으로 실험을 하였다. 알은 성충 접촉 후 잎에 정착하여 안정화되는 시간을 고려하여 24~32시간 동안 산란된 알을 이용하였다. 실험 전 현미경을 이용해 1반복당 20마리씩 사전 개체 수 조사를 한 후 실험에 이용하였다. 효과조사는 약충 처리의 경우 약제처리 7일 후, 알 대상 약제 처리의 경우 약제처리 10일 후에 생사 유무를 조사하였다. 대조군은 증류수에 30초간 침지하여 동일한 방법으로 수행하였다. 치사 여부는 다음 령기로 탈피하지 못하거나 표피의 색상, 점도 광택, 형태 등을 종합적으로 고려하여 판단하였다(FDACS, 2016; Naranjo and Ellsworth, 2017).

저항성 평가 실험은 앞에서 기술한 것과 같이 기본 농도 실험 결과를 기반으로 담배가루이의 치사율이 0~100%까지

**Table 3.** Analysis of variance for main effects and interaction in mortality of *Bemisia tabaci* according to collection site of *Bemisia tabaci*, type of pesticides, and concentration of insecticides

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Collection site (X1)	15	45,605.182	3,040.346	32.26	<.0001
Types of pesticides (X2)	7	585,095.766	83,585.109	886.91	<.0001
Concentration (X3)	2	61,575.257	30,787.629	326.68	<.0001
X1*X2	105	113,329.310	1,079.327	11.45	<.0001
X1*X3	30	7,039.170	234.639	2.49	<.0001
X1*X2*X3	224	39,214.661	175.066	1.86	<.0001

**Table 4.** Corrected mortality of field populations of *Bemisia tabaci* with each insecticide

Insecticide	Population	% corrected Mortality (mean $\pm$ SD)		
		1/2 RC <sup>a)</sup>	RC	2 RC
Flonicamid	GW <sup>b)</sup>	7.0 $\pm$ 0.0cd <sup>c)</sup>	10.3 $\pm$ 5.9d	37.9 $\pm$ 10.4cd
	SJ1	17.3 $\pm$ 10.5c	24.1 $\pm$ 15.8cd	17.2 $\pm$ 10.4e
	HA	17.0 $\pm$ 10.8c	28.8 $\pm$ 18.3cd	23.7 $\pm$ 8.8de
	CW	17.3 $\pm$ 2.9c	27.1 $\pm$ 16.3cd	35.6 $\pm$ 12.8cde
	CC	10.0 $\pm$ 0.0cd	11.7 $\pm$ 2.9cd	23.3 $\pm$ 7.6de
	YG	10.7 $\pm$ 15.8cd	20.7 $\pm$ 12.0cd	20.7 $\pm$ 12.0de
	AS	10.0 $\pm$ 8.2cd	33.9 $\pm$ 13.5bc	39.0 $\pm$ 10.2cd
	PT	3.3 $\pm$ 2.9d	16.7 $\pm$ 12.6cd	21.7 $\pm$ 10.4de
	YJ	17.3 $\pm$ 13.6c	15.5 $\pm$ 7.9cd	25.9 $\pm$ 7.9de
	SJ2	36.7 $\pm$ 12.6b	58.3 $\pm$ 10.4ab	50.0 $\pm$ 13.2bc
	OC	62.0 $\pm$ 12.1a	58.6 $\pm$ 17.9ab	65.5 $\pm$ 6.0ab
	CA	51.7 $\pm$ 5.8ab	60.0 $\pm$ 8.7a	78.3 $\pm$ 11.5a
	SC	10.0 $\pm$ 8.2cd	27.1 $\pm$ 10.6cd	37.3 $\pm$ 10.6cd
	GS	13.3 $\pm$ 2.9cd	21.7 $\pm$ 10.4cd	26.7 $\pm$ 12.6de
	GR	17.0 $\pm$ 10.8c	18.6 $\pm$ 5.1cd	33.9 $\pm$ 10.2cde
LAB <sup>d)</sup>	29.7 $\pm$ 2.9c	39.7 $\pm$ 20.9b	39.7 $\pm$ 10.8c	
Fluxametamide	GW	89.7 $\pm$ 0.0b	86.2 $\pm$ 6.0b	96.6 $\pm$ 5.9abc
	SJ1	65.5 $\pm$ 15.8c	89.7 $\pm$ 10.4ab	86.2 $\pm$ 15.8bc
	HA	100.0 $\pm$ 0.0a	100.0 $\pm$ 0.0a	100.0 $\pm$ 0.0a
	CW	78.0 $\pm$ 7.8bc	94.9 $\pm$ 5.1ab	93.2 $\pm$ 2.9abc
	CC	88.3 $\pm$ 2.9b	91.7 $\pm$ 2.9ab	98.3 $\pm$ 2.9ab
	YG	79.3 $\pm$ 10.4bc	82.8 $\pm$ 15.8b	96.6 $\pm$ 5.9abc
	AS	69.5 $\pm$ 18.3c	86.4 $\pm$ 5.8b	94.9 $\pm$ 0.0abc
	PT	88.3 $\pm$ 2.9b	95.0 $\pm$ 5.0ab	95.0 $\pm$ 5.0abc
	YJ	79.3 $\pm$ 10.4bc	82.8 $\pm$ 13.0b	100.0 $\pm$ 0.0a
	SJ2	81.7 $\pm$ 12.6bc	86.7 $\pm$ 12.6ab	88.3 $\pm$ 2.9c
	OC	81.5 $\pm$ 6.4bc	92.6 $\pm$ 6.4ab	100.0 $\pm$ 0.0a
	CA	76.3 $\pm$ 7.8bc	84.8 $\pm$ 10.2b	98.3 $\pm$ 2.9ab
	SC	78.0 $\pm$ 2.9bc	84.8 $\pm$ 5.1b	91.5 $\pm$ 5.8bc
	GS	83.3 $\pm$ 7.6bc	90.0 $\pm$ 5.0ab	91.7 $\pm$ 2.9bc
	GR	76.3 $\pm$ 5.9bc	91.5 $\pm$ 7.7ab	93.2 $\pm$ 7.7abc
LAB	98.3 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a	100.0 $\pm$ 0.0a	
Spinetoram	GW	73.3 $\pm$ 5.8abc	80.0 $\pm$ 0.0bcde	83.3 $\pm$ 15.3bcd
	SJ1	34.5 $\pm$ 15.8f	62.1 $\pm$ 15.8e	72.4 $\pm$ 5.9d
	HA	78.3 $\pm$ 12.6a	68.3 $\pm$ 11.5cde	86.7 $\pm$ 2.9bcd
	CW	71.2 $\pm$ 7.8abc	74.6 $\pm$ 8.8cde	96.6 $\pm$ 2.9ab
	CC	56.9 $\pm$ 18.2cde	60.4 $\pm$ 10.8e	87.9 $\pm$ 12.0bcd
	YG	78.6 $\pm$ 0.0ab	78.6 $\pm$ 10.7bcde	78.6 $\pm$ 18.6bcd
	AS	83.1 $\pm$ 12.8a	93.2 $\pm$ 2.9ab	94.9 $\pm$ 5.1ab
	PT	68.3 $\pm$ 2.9abcd	76.7 $\pm$ 5.8cde	83.3 $\pm$ 7.6bcd
	YJ	48.3 $\pm$ 10.4def	72.4 $\pm$ 16.6cde	74.1 $\pm$ 8.9cd
	SJ2	81.7 $\pm$ 7.6a	86.7 $\pm$ 5.8abc	100.0 $\pm$ 0.0a
	OC	70.0 $\pm$ 10.0abc	80.0 $\pm$ 10.0bcde	80.0 $\pm$ 17.3bcd
	CA	64.4 $\pm$ 13.5abcd	84.8 $\pm$ 10.2abcd	89.8 $\pm$ 5.1bcd
	SC	57.6 $\pm$ 2.9bcde	66.1 $\pm$ 7.8de	86.4 $\pm$ 5.8bcd
	GS	41.4 $\pm$ 13.0ef	72.4 $\pm$ 7.9cde	81.0 $\pm$ 6.0bcd
	GR	83.1 $\pm$ 5.8a	93.2 $\pm$ 5.9a	93.2 $\pm$ 7.7abc
LAB	98.3 $\pm$ 2.9a	96.7 $\pm$ 5.8a	98.3 $\pm$ 2.9a	

Table 4. Continued

Insecticide	Population	% corrected Mortality (mean ± SD)		
		1/2 RC	RC	2 RC
Cyantraniliprole	GW	60.0 ± 20.0ef	63.3 ± 5.8de	66.7 ± 25.2c
	SJ1	44.8 ± 12.0f	65.5 ± 6.0cde	72.4 ± 5.9c
	HA	75.0 ± 5.0bcde	98.3 ± 2.9a	100.0 ± 0.0a
	CW	89.8 ± 5.1ab	91.5 ± 2.9ab	96.6 ± 2.9ab
	CC	78.3 ± 5.8abcde	91.7 ± 5.8ab	95.0 ± 8.7ab
	YG	66.7 ± 5.8cdef	60.0 ± 17.3e	73.3 ± 15.3c
	AS	91.5 ± 7.7a	94.9 ± 5.1ab	98.3 ± 2.9ab
	PT	86.7 ± 2.9abcd	86.7 ± 7.6bc	96.7 ± 2.9ab
	YJ	86.2 ± 7.9abc	91.4 ± 7.9ab	96.5 ± 3.0ab
	SJ2	65.0 ± 21.8cdef	80.0 ± 18.0bcd	86.7 ± 12.6abc
	OC	63.3 ± 11.5def	83.3 ± 5.8bcde	80.0 ± 17.3bc
	CA	76.3 ± 5.9abcde	98.3 ± 2.9a	94.9 ± 5.1ab
	SC	83.3 ± 7.6abcde	85.0 ± 8.7bcd	88.3 ± 2.9bc
	GS	86.2 ± 13.0ab	98.3 ± 3.0a	100.0 ± 0.0a
	GR	59.3 ± 10.2ef	64.4 ± 5.1cde	88.2 ± 5.8abc
LAB	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	
Dinotefuran	GW	55.2 ± 12.0a	72.4 ± 15.8ab	93.1 ± 5.9a
	SJ1	17.2 ± 10.4cd	41.4 ± 6.0cde	79.3 ± 10.4abcd
	HA	33.3 ± 5.8abcd	61.7 ± 5.8abcd	68.3 ± 15.3bcde
	CW	22.0 ± 20.6bcd	54.2 ± 13.4abcd	57.6 ± 7.7de
	CC	19.0 ± 12.0dc	51.7 ± 15.8abcde	53.5 ± 18.6e
	YG	33.3 ± 11.1abcd	37.0 ± 17.0de	59.3 ± 6.4cde
	AS	47.5 ± 7.7ab	66.1 ± 10.6abc	81.4 ± 10.6abcd
	PT	61.7 ± 10.4a	76.7 ± 5.8a	83.3 ± 7.6abc
	YJ	25.8 ± 10.8bcd	55.2 ± 23.9abcde	72.4 ± 7.9bcde
	SJ2	58.3 ± 20.8a	48.3 ± 16.1bcde	83.3 ± 15.3ab
	OC	60.0 ± 17.3a	56.7 ± 23.1abcde	53.3 ± 11.5e
	CA	40.7 ± 5.9abc	42.4 ± 10.6cde	61.0 ± 10.6cde
	SC	38.3 ± 23.1abc	63.3 ± 2.9abcd	61.7 ± 11.5cde
	GS	15.5 ± 7.9cd	29.3 ± 6.0e	50.0 ± 7.9e
	GR	13.6 ± 17.6d	59.3 ± 17.6abcd	45.8 ± 12.8e
LAB	41.4 ± 12.0c	63.8 ± 10.3b	75.9 ± 5.9b	
Pyridaben	GW	34.5 ± 12.0f	58.6 ± 10.4de	58.6 ± 18.0g
	SJ1	58.6 ± 10.4e	51.7 ± 12.0e	79.3 ± 10.4ef
	HA	78.3 ± 7.6abcde	83.3 ± 11.5bc	83.3 ± 5.8def
	CW	66.1 ± 2.9cde	83.1 ± 12.8bc	94.9 ± 8.8ab
	CC	74.1 ± 8.9bcde	98.3 ± 3.0a	98.3 ± 3.0ab
	YG	58.6 ± 18.0e	65.5 ± 12.0cd	72.4 ± 12.0fg
	AS	86.5 ± 7.7ab	91.5 ± 2.9b	93.2 ± 5.9abcd
	PT	85.0 ± 5.0abc	88.3 ± 7.6bc	93.3 ± 2.9bcde
	YJ	80.0 ± 15.0ab	86.7 ± 10.4bc	96.7 ± 2.9abc
	SJ2	65.0 ± 17.3cde	85.0 ± 0.0bc	86.7 ± 5.8cdef
	OC	70.4 ± 12.8bcde	59.3 ± 12.9de	59.3 ± 6.4g
	CA	67.8 ± 11.8cde	72.9 ± 7.8cd	100.0 ± 0.0a
	SC	65.0 ± 8.7de	98.3 ± 2.9a	98.3 ± 2.9ab
	GS	65.5 ± 3.0de	74.1 ± 5.2cd	75.9 ± 5.9fg
	GR	75.0 ± 5.0bcde	88.3 ± 2.9bc	98.3 ± 2.9ab
LAB	93.1 ± 2.9a	94.8 ± 5.2a	100.0 ± 0.0a	

Table 4. Continued

Insecticide	Population	% corrected Mortality (mean ± SD)		
		1/2 RC	RC	2 RC
Milbemectin	GW	65.5 ± 15.8efg	72.4 ± 15.8d	100.0 ± 0.0a
	SJ1	72.4 ± 21.5defg	86.2 ± 15.8bcd	96.6 ± 5.9ab
	HA	63.3 ± 7.6efg	80.0 ± 5.0cd	100.0 ± 0.0a
	CW	98.3 ± 2.9a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
	CC	91.4 ± 10.8abc	98.3 ± 3.0ab	98.3 ± 3.0ab
	YG	82.8 ± 6.0cdef	82.8 ± 6.0cd	86.2 ± 6.0cd
	AS	96.6 ± 2.9ab	96.6 ± 5.9ab	98.3 ± 2.9ab
	PT	85.0 ± 8.7bcde	91.7 ± 7.6abc	93.3 ± 5.8abc
	YJ	91.5 ± 2.9abcd	98.3 ± 2.9ab	100.0 ± 0.0a
	SJ2	70.0 ± 5.0efg	78.3 ± 7.6cd	80.0 ± 5.0d
	OC	60.0 ± 20.0fg	76.7 ± 5.8cd	80.0 ± 0.0d
	CA	65.0 ± 10.0efg	73.3 ± 12.6d	91.7 ± 7.6bc
	SC	75.0 ± 8.7defg	98.3 ± 2.9ab	100.0 ± 0.0a
	GS	98.3 ± 2.9a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a
GR	53.3 ± 7.6g	81.7 ± 2.9cd	95.0 ± 8.7ab	
LAB	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	100.0 ± 0.0a	
Pyriproxyfen	GW	20.0 ± 17.3bcd	23.3 ± 5.8efgh	26.7 ± 15.3ef
	SJ1	18.3 ± 5.4cd	13.8 ± 5.9ghi	17.2 ± 10.4f
	HA	26.8 ± 2.1bcd	33.9 ± 10.2cdef	35.6 ± 11.8de
	CW	38.2 ± 1.7ab	46.7 ± 10.4bc	58.3 ± 7.6bc
	CC	29.1 ± 3.5bcd	39.0 ± 8.8bcde	55.9 ± 2.9c
	YG	10.0 ± 10.0d	10.0 ± 0.0hi	13.3 ± 5.8f
	AS	46.9 ± 12.3a	66.7 ± 7.6a	78.3 ± 7.6a
	PT	18.6 ± 9.9cd	10.0 ± 8.7i	18.3 ± 10.4f
	YJ	22.5 ± 13.0bcd	19.0 ± 7.9fghi	44.8 ± 3.0cd
	SJ2	46.0 ± 4.4a	53.3 ± 5.8ab	75.0 ± 10.0ab
	OC	17.7 ± 15.4cd	33.3 ± 5.8cdef	40.0 ± 10.0cde
	CA	19.3 ± 6.9cd	21.7 ± 11.5fghi	50.0 ± 10.0cd
	SC	39.1 ± 5.9ab	46.7 ± 2.9bc	51.7 ± 2.9cd
	GS	30.7 ± 5.8abcd	26.3 ± 5.3defg	73.7 ± 9.1ab
GR	25.3 ± 2.2bcd	46.7 ± 18.9bc	58.3 ± 5.8bc	
LAB	34.2 ± 9.6abc	44.1 ± 13.5bcd	45.8 ± 10.6cd	

<sup>a</sup>RC; Recommended concentration

<sup>b</sup>See abbreviations in the collection site in Table 1

<sup>c</sup>Means followed by same lowercase letters within the column are not significantly different (Duncan's multiple range test,  $p < 0.05$ )

<sup>d</sup>LAB; Susceptible strain used in this study

나타나는 구간에 공비를 두어 5단계의 농도 구간을 설정하였다. 저항성 평가 방법을 위한 실험 및 대상 해충의 사육 방법은 기본 농도 실험과 동일하게 수행하였으며, 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

#### 자료분석

약제별 치사율 자료는 보정사충률을 구한 뒤 arcsin으로 변환하여 Duncan test (PROC ANOVA, SAS/STAT® 9.4 user's guide, 2011)로 처리평균간 차이를 분산분석 하였는데 (PROC ANOVA, SAS/STAT® 9.4 user's guide, 2011)

결과값은 arcsin변환 전 값을 표기하였다. 보정사충률은 [(무처리구 생충률-약제처리구 생충률)/무처리구 생충률 \* 100]으로 계산하여 치사율 차이를 비교하였다(Choi et al., 2023).

지역과 실험 약제, 농도간 상호작용 여부를 파악하기 위해 요인분석(Factor analysis) 하였으며 (PROC FACTOR, SAS/STAT® 9.4 user's guide, 2011), 저항성 값을 비교하기 위한 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)나 90% 치사농도(LC<sub>90</sub>)는 probit 분석(PROC PROBIT, SAS/STAT® 9.4 user's guide, 2011) 하였다.

저항성 평가는 저항성비(Resistance ratio; RR)와 방제효

과지수(Control efficacy index; CEI)를 구하였는데 저항성 비는 (야외 개체군의 각 시험 약제에 대한 LC<sub>50</sub>/감수성 개체군에 대한 각 시험 약제의 LC<sub>50</sub>)으로 도출하였고, 방제효과 지수는 (야외 개체군의 각 시험 약제에 대한 LC<sub>90</sub>/각 시험 약제의 권장 농도)로 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 오이 담배가루이의 약제별 살충활성 검정

실험결과, 지역별로 동일 약제에 대한 약제 반응이 다르게 나타났으며, 약량별 살충활성에도 지역간에 차이가 있었고, 지역과 약제 및 농도간 상호작용도 통계적으로 유의하게 나타났다(Table 3). 농도가 증가할수록 살충율이 증가되는 경향을 보였으나 일부 약제의 경우 추천농도와 추천농도

의 1/2배 및 2배량에서 약효 차이가 없었다(Table 3, 4).

지역별로 동일 약제에 대한 약제 반응이 다르게 나타나기도 하였으며, 약량별 살충활성에도 지역간에 차이가 있었고, 지역과 약제, 농도간 상호작용도 통계적으로 유의하게 차이가 있었다(Table 3).

추천농도에서 약제별 살충율은 flonicamid의 경우 모든 지역계통에서 60.0% 이하의 낮은 살충율을 보였으며, 특히 군위지역 개체군에서 10.3%의 가장 낮은 살충율을 보였다(Table 4). Fluxametamide는 지역 개체군에 대한 살충활성이 대부분 높게 나타나 82.8~98.3%의 살충율을 보였으며, 함안 개체군의 경우 모든 처리 농도에서 100.0%의 높은 살충율을 보였다(Table 4). Spinetoram은 지역 개체군에 대한 약제 반응이 60.4~96.7%로 다양하게 나타났다. Cyantraniliprole은 spinetoram과 유사한 경향을 보였으며, 가장 낮은 지역이 양

**Table 5.** Susceptibility to insecticides in *Bemisia tabaci* from field populations in 2022-2023

Pop. <sup>a)</sup>	Flonicamid				Fluxametamide			
	LC <sub>50</sub> (95% FL <sup>b)</sup> )	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE <sup>c)</sup>	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE
GW	250.9 (192.3-327.3)	2069.0 (1326.0-3974.0)	1.40	0.16	1.3 (0.8-2.0)	39.1 (18.7-119.1)	0.86	0.10
SJ1	592.0 (467.6-769.7)	3908.0 (2514.0-7528.0)	1.56	0.17	1.2 (0.9-1.7)	15.2 (9.4-29.8)	1.17	0.12
HA	18.1 (9.3-30.7)	1485.0 (591.2-3332.0)	1.01	0.15	4.1 (3.3-5.0)	19.3 (14.3-29.7)	1.91	0.21
CW	379.5 (285.7-496.1)	3335.0 (2141.0-6427.0)	1.36	0.15	2.9 (2.1-3.9)	30.8 (18.4-65.1)	1.24	0.14
CC	591.1 (463.0-780.0)	3338.0 (2184.0-6167.0)	1.54	0.16	5.9 (4.1-8.3)	35.9 (21.8-82.6)	1.63	0.22
YG	83.4 (63.8-108.0)	527.7 (372.9-830.7)	1.60	0.14	9.6 (4.4-17.4)	199.9 (93.3-723.8)	0.97	0.15
AS	344.8 (271.4-432.2)	1972.0 (1408.0-3150.0)	1.69	0.17	6.7 (4.1-10.5)	276.0 (123.6-959.4)	0.79	0.10
PT	183.9 (133.8-248.3)	2014.0 (1252.0-3998.0)	1.23	0.13	2.3 (1.5-3.6)	17.6 (9.7-46.0)	1.45	0.19
YJ	287.5 (213.9-384.0)	3029.0 (1819.0-6622.0)	1.25	0.15	4.3 (2.9-6.2)	70.9 (41.6-150.7)	1.06	0.11
SJ2	445.7 (340.1-600.0)	4032.0 (2412.0-8767.0)	1.34	0.15	1.5 (0.9-2.4)	50.6 (27.4-122.2)	0.84	0.10
OC	21.9 (14.3-33.2)	624.5 (309.6-1776.0)	0.88	0.10	4.2 (2.9-6.1)	80.2 (44.0-190.6)	1.00	0.11
CA	129.3 (86.8-196.5)	3239.0 (1584.0-9400.0)	0.92	0.10	5.6 (4.1-7.8)	65.4 (39.7-130.4)	1.20	0.12
SC	336.2 (247.8-469.5)	4296.0 (2322.0-11444)	1.16	0.15	4.9 (3.2-7.3)	39.0 (22.7-88.5)	1.42	0.17
GS	337.8 (263.4-432.4)	2064.0 (1439.0-3369.0)	1.63	0.16	1.9 (1.3-2.9)	50.5 (26.1-134.7)	0.90	0.10
GR	473.8 (273.8-922.9)	9451.0 (3390.0-77588)	0.99	0.17	5.9 (4.0-8.5)	108.4 (60.7-248.6)	1.01	0.11
LAB	187.6 (129.0-275.1)	3837.0 (1985.0-10290)	0.98	0.11	0.9 (0.7-1.3)	8.3 (5.3-15.3)	1.34	0.13

Table 5. Continued

Pop.	Spinetoram				Cyantraniliprole			
	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE
GW	1.6 (0.7-3.0)	53.9 (19.9-372.6)	0.83	0.14	4.8 (3.8-6.0)	26.1 (18.9-40.9)	1.74	0.18
SJ1	7.5 (5.7-9.5)	45.0 (32.3-71.4)	1.65	0.18	11.4 (9.1-14.0)	50.0 (37.6-74.2)	1.99	0.21
HA	1.2 (0.8-1.7)	15.3 (9.5-29.7)	1.15	0.12	3.0 (2.0-4.3)	55.7 (30.5-132.8)	1.01	0.11
CW	2.7 (1.9-3.8)	44.5 (25.2-99.6)	1.05	0.11	1.7 (1.3-2.3)	15.9 (10.1-29.3)	1.32	0.12
CC	2.4 (1.5-3.6)	48.9 (28.5-106.5)	0.98	0.11	2.8 (2.1-3.7)	22.0 (14.7-37.9)	1.43	0.14
YG	3.0 (1.8-4.9)	150.6 (67.2-501.1)	0.75	0.09	1.1 (0.6-2.0)	81.3 (37.5-229.5)	0.69	0.07
AS	1.4 (0.9-2.0)	28.7 (16.1-65.9)	0.97	0.11	4.9 (2.3-12.1)	90.8 (28.9-1104.0)	1.01	0.19
PT	1.4 (0.9-2.1)	37.1 (18.7-102.7)	0.90	0.10	5.6 (3.7-8.3)	40.3 (23.5-92.0)	1.49	0.18
YJ	7.8 (5.4-11.2)	129.1 (74.1-284.2)	1.05	0.11	3.1 (2.3-4.1)	21.3 (14.4-35.8)	1.53	0.15
SJ2	1.8 (1.1-2.4)	80.8 (36.6-279.4)	0.78	0.10	8.1 (5.9-11.1)	80.9 (50.9-152.3)	1.28	0.12
OC	1.6 (1.1-2.2)	18.7 (11.9-35.3)	1.19	0.13	6.5 (5.0-8.5)	38.5 (26.8-62.3)	1.67	0.16
CA	2.2 (1.4-3.3)	59.0 (31.1-151.8)	0.89	0.10	6.8 (4.6-10.1)	157.3 (80.2-424.3)	0.94	0.10
SC	6.8 (4.5-9.6)	126.3 (69.5-317.7)	1.01	0.12	6.9 (4.9-9.6)	82.2 (50.9-158.9)	1.19	0.12
GS	3.3 (2.1-5.0)	93.7 (48.4-250.4)	0.88	0.10	2.8 (2.0-3.8)	24.7 (15.9-44.9)	1.35	0.13
GR	2.0 (1.3-2.8)	33.0 (19.5-69.4)	1.05	0.11	8.3 (5.2-12.8)	301.9 (142.8-948.7)	0.82	0.10
LAB	0.5 (0.3-0.6)	4.6 (2.9-8.7)	1.28	0.12	0.9 (0.6-1.2)	10.0 (6.3-18.9)	1.22	0.12

주(60.0%)였으며, 가장 높은 살충율은 안성(94.9%) 개체군이었다. 앞선 두 약제의 경우 살충율이 낮은 지역과 높은 지역이 있었으나, dinotefuran의 경우 살충율이 가장 높은 지역이 평택(76.7%)이었으며, 그 외 지역은 평택지역보다 낮은 살충율을 보였으며, 가장 낮은 지역은 곡성(29.3%) 개체군이었다. Pyriproxyfen은 알에 대한 실험을 수행한 약제인데, 모든 지역 개체군에서 66.7% 이하의 결과가 나타났었다(Table 4).

본 연구에서 감수성 개체군으로 이용한 LAB계통의 경우 8종의 약제 중 flonicamid에 대해 39.7%, dinotefuran에 대해 63.8%, pyriproxyfen에 대해 44.1%의 낮은 살충율을 보였다. 그러나 fluxametamide, spinetoram 그리고 pyridaben 3종 약제에서는 94.8~98.3%의 높은 약제 반응이 나타났으며 특히, cyantraniliprole과 milbemectin의 경우 추천농도,

추천농도의 2배, 추천농도의 1/2배의 모든 농도에서 100.0%의 치사율을 보였다(Table 4).

#### 약제별 저항성 검정 및 평가

살충활성 검정에서 나온 결과 값을 통해서 각 지역계통에 대한 약제별 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 값을 구한 결과는 Table 5와 같았다. 모든 약제에 대해 지역 개체군들의 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 값은 다양하게 나타났는데 flonicamid의 경우 실험실 계통보다 낮은 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 값을 갖는 지역 계통들이 많았다. Fluxametamide의 LC<sub>90</sub> 값은 양구와 안성 지역 계통에서 199.9 ppm과 276.0 ppm으로 실험실 계통에 비해 24배 이상 높았다. Spinetoram, cyantraniliprole 그리고 pyridaben은 15개 지역계통에서 실험실 계통 보다 높은 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 값을 보였으며, milbemectin은 모든 지역 계통들의 LC<sub>50</sub>과



Table 5. Continued

Pop.	Dinotefuran				Pyridaben			
	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE
GW	26.0 (18.4-35.1)	253.4 (166.3-456.5)	1.30	0.14	16.5 (10.9-24.0)	301.5 (175.4-643.1)	1.02	0.11
SJ1	25.3 (15.7-38.0)	512.7 (303.6-1052.0)	0.98	0.10	22.7 (17.1-29.4)	158.8 (109.8-264.4)	1.52	0.16
HA	32.6 (23.4-45.8)	405.2 (239.5-841.1)	2.34	0.23	28.5 (19.4-41.3)	537.6 (298.1-832.1)	1.00	0.11
CW	116.7 (86.3-152.6)	1015.0 (667.0-1883.0)	1.36	0.16	13.3 (8.2-20.5)	453.4 (223.3-1329.0)	0.84	0.10
CC	149.8 (118.6-189.3)	1000.0 (651.3-1967.0)	0.91	0.11	6.0 (3.8-8.9)	152.1 (81.0-385.3)	1.55	0.20
YG	67.3 (51.8-88.1)	507.8 (331.2-931.5)	1.46	0.15	11.9 (7.1-19.0)	329.6 (179.5-729.5)	0.89	0.08
AS	49.0 (26.1-103.3)	644.0 (246.4-4251.0)	1.15	0.20	4.7 (3.1-6.7)	77.0 (45.6-161.7)	1.05	0.11
PT	47.9 (33.3-67.4)	664.1 (398.9-1353.0)	1.12	0.12	7.9 (5.1-11.8)	208.9 (108.4-550.2)	0.90	0.10
YJ	93.2 (77.4-112.0)	391.4 (292.4-593.0)	2.06	0.22	21.8 (14.9-31.6)	404.0 (222.5-950.5)	1.01	0.11
SJ2	28.8 (18.7-45.0)	970.0 (441.3-3244.0)	0.84	0.10	18.1 (11.4-28.2)	438.4 (245.5-926.8)	0.93	0.08
OC	47.6 (30.3-79.5)	1984.0 (785.7-8619.0)	0.79	0.10	6.0 (4.3-8.1)	61.5 (39.8-114.2)	1.27	0.14
CA	103.1 (74.3-140.8)	1269.0 (763.0-2673.0)	1.18	0.13	7.2 (4.8-10.6)	154.1 (83.9-374.0)	0.96	0.11
SC	122.4 (84.8-181.5)	2247.0 (1177.0-5744.0)	1.01	0.11	5.1 (3.5-7.3)	86.1 (49.0-191.8)	1.04	0.11
GS	244.2 (192.5-309.9)	1535.0 (1053.0-2621.0)	1.61	0.17	21.5 (14.2-31.1)	397.1 (229.5-864.5)	1.01	0.11
GR	205.2 (161.8-261.4)	851.2 (616.3-1314.0)	2.07	0.20	18.4 (12.7-26.3)	302.7 (173.9-662.3)	1.05	0.11
LAB	24.7 (17.9-33.0)	243.1 (157.1-452.6)	1.29	0.14	2.2 (1.1-3.8)	50.4 (22.7-203.5)	0.94	0.14

LC<sub>90</sub> 값이 1.7배 미만으로 매우 높은 감수성을 보였다. Dinotefuran의 경우 실험실 계통과 비교하였을 때 LC<sub>50</sub> 값에서 균위와 상주계통에서만 유사한 값을 보였고, 그 외 지역에서는 최소 3.4배 이상 높게 나타났다. Pyriproxyfen은 추천농도(ppm) 대비 LC<sub>50</sub> (3,178.0 ppm)과 LC<sub>90</sub> (17,098.0 ppm)이었으며, 실험실 계통 대비 63.6~342배로 매우 높게 나타났다.

이전 연구에서 연구자들은 저항성 정도를 판단하기 위하여 다양한 저항성 관련 지수(RF, RR, SI, CEI, PEI) 등을 이용하였다(Ahmad et al., 2009; Choi et al., 2023; Jeong et al., 2017; Kang et al., 2023, 2024; Lee et al., 2023; Stará et al., 2024). 각각의 저항성 관련 지수들은 적용의 제한점과 실제 야외에서의 실용적 측면의 저항성 판단에 제한점이 있다. 저항성인자(RF, Resistance factor)나 저항성비(RR,

resistance ratio)는 감수성 계통의 존재가 있어야만 판단을 할 수 있는 제한점이 있으며, 살충효과와 두 지수 간의 부합하지 않는 부분들이 존재한다.

한편 농약을 실제 사용하는 사용자 입장에서 등록된 약제의 권장 처리 농도를 기반으로 실용성을 강조한 저항성지수로서 약제효과지수(PEI: Pesticide efficacy index) (Jeong et al., 2017), 방제효과지수(CEI: Control efficacy index)의 개념이(Choi et al., 2023; Kang et al., 2023, 2024; Lee et al., 2023) 사용되었는데 야외 개체군의 각 시험 약제에 대한 LC<sub>90</sub> 값을 구하여 각 시험약제의 권장 농도로 나누어 효과를 비교하기 때문에 기존의 저항성비나 저항성인자를 구하기 위한 probit 분석 결과값을 실용적 측면에서 적용시킨 지수로 판단하여 본 연구에서도 근래에 많이 사용되고 있는 방제효과지수(CEI)를 사용하였다. 따라서 본 연구에서는 각

Table 5. Continued

Pop.	Milbemectin				Pyriproxyfen			
	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE	LC <sub>50</sub> (95% FL)	LC <sub>90</sub> (95% FL)	Slope	SE
GW	0.8 (0.5-1.1)	18.0 (9.5-45.9)	0.93	0.11	3178.0 (2544.0-3974.0)	17098.0 (12140.0-27523)	1.75	0.17
SJ1	0.3 (0.2-0.4)	2.7 (1.8-4.9)	1.30	0.14	141.8 (71.7-232.1)	1236.0 (680.6-3560.0)	1.36	0.23
HA	0.3 (0.1-0.5)	9.4 (3.7-52.4)	1.63	0.26	128.5 (85.4-172.8)	1435.0 (869.5-3447.0)	1.22	0.19
CW	3.4 (2.9-4.0)	11.6 (9.2-16.1)	2.42	0.24	33.6 (25.4-44.3)	220.6 (150.3-368.9)	1.57	0.15
CC	0.5 (0.4-0.7)	2.7 (1.9-4.3)	1.83	0.17	76.7 (58.0-100.1)	661.7 (426.1-1268.0)	1.37	0.16
YG	0.8 (0.5-1.1)	7.5 (5.2-12.0)	1.33	0.13	267.2 (209.1-327.5)	1268.0 (956.7-1906.0)	1.89	0.22
AS	0.2 (0.2-0.3)	1.7 (1.1-2.8)	1.50	0.15	14.9 (10.6-20.8)	186.6 (114.2-368.0)	1.17	0.12
PT	0.3 (0.2-0.4)	3.5 (2.2-6.6)	1.20	0.12	74.9 (52.8-103.5)	830.9 (526.1-1557.0)	1.23	0.12
YJ	0.6 (0.4-0.9)	5.2 (2.9-13.0)	1.31	0.16	217.4 (163.8-288.4)	2099.0 (1282.0-4432.0)	1.30	0.15
SJ2	0.4 (0.3-0.5)	3.3 (2.2-5.7)	1.40	0.15	25.4 (16.8-37.6)	600.0 (317.1-1525.0)	0.93	0.10
OC	0.2 (0.1-0.3)	3.8 (2.2-8.8)	1.00	0.11	112.4 (84.1-146.9)	987.3 (639.3-1879.0)	1.36	0.16
CA	0.7 (0.4-1.1)	8.3 (4.3-24.3)	1.17	0.16	93.8 (66.6-132.1)	1259.0 (744.7-2614.0)	1.14	0.11
SC	0.2 (0.1-0.3)	1.7 (1.1-3.1)	1.34	0.13	75.8 (53.2-105.9)	1166.0 (660.1-2753.0)	1.08	0.13
GS	0.2 (0.2-0.3)	1.5 (1.0-2.5)	1.60	0.15	31.1 (22.4-42.9)	347.5 (214.8-672.2)	1.22	0.12
GR	0.3 (0.2-0.5)	2.6 (1.4-7.7)	1.41	0.19	82.7 (58.8-116.2)	1090.0 (648.8-2236.0)	1.14	0.11
LAB	0.1 (0.1-0.1)	1.0 (0.6-1.8)	1.34	0.14	11.7 (7.6-17.1)	245.8 (136.5-577.5)	0.97	0.11

<sup>a</sup>Pop; Population, See abbreviations in the collection site in Table 1, <sup>b</sup>FL; Fiducial limits, <sup>c</sup>SE; Standard error.

살충제의 지역계통별 살충활성 검정 결과를 바탕으로 RR과 CEI를 구했으며, LAB계통을 포함한 분석을 통해 저항성정도를 파악하고자 하였다(Table 6).

Flonicamid에서는 LAB계통을 포함한 모든 지역계통에서 10 이상의 CEI를 나타내었는데 양구와 옥천 지역계통에서 각각 10.6, 12.5로 가장 낮았는데 이는 LAB계통 76.7보다 낮았다(Table 4, 5, 6). 그리고 함안과 옥천 지역계통들의 RR은 모두 0.1로 낮아 Ahmad and Arif (2009)의 저항성지수 범위 단계에서는 감수성에 해당되지만 살충활성 검정에서는 60.0% 이하의 낮은 치사율을 보였고, LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 값에서 추천농도 대비 높은 수치를 보여 RR와 살충율간에 상반된 경향을 보였다. 이러한 결과는 저항성비와 약제의 살충효과간 높은 불일치의 예로 이는 감수성계통의 불완전성

에 의한 것이거나 RR가 현장에서의 방제효과와 근원적 차이가 존재할 수 있음을 암시한다.

Fluxametamide는 CEI가 양구(4.4)와 안성(6.1)에서 높은 지수를 보였는데 RR도 양구(10.4)와 안성(7.2)에서 높게 나타났다. 이 두 지역계통은 LC<sub>90</sub>에서 가장 높은 수치를 보였던 계통이며, LAB계통의 CEI는 0.2였다. Spinetoram, cyantraniliprole, dinotefuran과 pyridaben은 각 지역계통 별로 지수가 다양하게 나타났으며, 저항성 발현의 초기 단계에 진입하고 있음을 시사한다(Table 4, 5, 6).

Milbemectin은 CEI가 0.2~1.8로 15개 지역계통 모두에서 살충 효과가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 8종의 약제 중에서도 살충 활성이 가장 높았으나, 철원 지역계통의 RR은 31.7로 높게 나타나 LC<sub>50</sub>과 LC<sub>90</sub> 및 CEI와 차이를 보

**Table 6.** Resistance ratio (RR) and control efficacy index (CEI) of field populations *B. tabaci* for each insecticide

Pop. <sup>a)</sup>	Flonicamid		Fluxametamide		Spinetoram		Cyantraniliprole	
	RR <sup>b)</sup>	CEI <sup>c)</sup>	RR	CEI	RR	CEI	RR	CEI
GW	1.3	41.4	1.4	0.9	3.4	2.2	5.4	0.5
SJ1	3.2	78.2	1.3	0.3	16.2	1.8	12.7	1.0
HA	0.1	29.7	4.4	0.4	2.5	0.6	3.3	1.1
CW	2.0	66.7	3.1	0.7	5.8	1.8	1.9	0.3
CC	3.2	66.8	6.3	0.8	5.2	2.0	3.1	0.4
YG	0.4	10.6	10.4	4.4	6.5	6.0	1.3	1.6
AS	1.8	39.4	7.2	6.1	3.0	1.1	5.5	1.8
PT	1.0	40.3	2.5	0.4	3.0	1.5	6.2	0.8
YJ	1.5	60.6	4.7	1.6	16.9	5.2	3.5	0.4
SJ2	2.4	80.6	1.6	1.1	3.9	3.2	9.1	1.6
OC	0.1	12.5	4.6	1.8	3.4	0.7	7.3	0.8
CA	0.7	64.8	6.1	1.5	4.7	2.4	7.6	3.1
SC	1.8	85.9	5.3	0.9	14.6	5.1	7.8	1.6
GS	1.8	41.3	2.1	1.1	7.1	3.7	3.1	0.5
GR	2.5	189.0	6.3	2.4	4.3	1.3	9.3	6.0
LAB	-	76.7	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Pop.	Dinotefuran		Pyridaben		Milbemectin		Pyriproxyfen	
	RR	CEI	RR	CEI	RR	CEI	RR	CEI
GW	1.1	2.5	7.6	1.5	7.0	1.8	272.7	342.0
SJ1	1.0	5.1	10.4	0.8	2.6	0.3	12.2	24.7
HA	1.3	4.1	13.1	2.7	2.3	0.9	11.0	28.7
CW	4.7	10.2	6.1	2.3	31.7	1.2	2.9	4.4
CC	6.1	10.0	2.7	0.8	5.0	0.3	6.6	13.2
YG	2.7	5.1	5.4	1.6	7.5	0.8	22.9	25.4
AS	2.0	6.4	2.1	0.4	2.2	0.2	1.3	3.7
PT	1.9	6.6	3.6	1.0	2.8	0.3	6.4	16.6
YJ	3.8	3.9	10.0	2.0	5.1	0.5	18.7	42.0
SJ2	1.2	9.7	8.3	2.2	3.7	0.3	2.2	12.0
OC	1.9	19.8	2.8	0.3	1.9	0.4	9.6	19.7
CA	4.2	12.7	3.3	0.8	6.1	0.8	8.1	25.2
SC	5.0	22.5	2.3	0.4	1.7	0.2	6.5	23.3
GS	9.9	15.4	9.9	2.0	2.2	0.2	2.7	7.0
GR	8.3	8.5	8.4	1.5	3.0	0.3	7.1	21.8
LAB	-	2.4	-	0.3	-	0.1	-	4.9

<sup>a)</sup>Pop; Population, See abbreviations in the collection site in Table 1, <sup>b)</sup>RR; Resistance ratio, <sup>c)</sup>CEI; Control efficacy index

였다(Table 5, 6).

Pyriproxyfen은 균위 지역계통에서 CEI (342.0)과 RR (272.7)가 가장 높았으며, 저항성 검정 결과에서 LC<sub>90</sub>이 추천농도 대비 342배로 가장 높았다(Table 5, 6).

Flonicamid는 담배가루이의 층태별에 따라 각기 상이한 효과가 보고되었는데 Roditakis et al. (2014)은 알과 약충 단계에서 살충 효과가 미미한 것으로 나타나지만 성충에서 효과가 높다고 하였고, Abbas-Iqbal et al. (2022)은 알과 성

충에서 잠재적인 효과가 있지만 약충에서는 효과가 낮았다고 하였다. 본 연구에서도 약충에 대한 효과가 낮게 나타난 이들 두 연구 결과와 유사하게 낮은 경향을 보였다. 또한 감수성계통으로 간주하여 실험에 이용한 LAB계통에서 76.7의 높은 CEI를 보여 실제 저항성 취득에 의한 효과 감소인지 약제 특성에 따른 낮은 효과 발현인지에 대해 추후 성충 단계에서 산란율의 추가적인 검증 등을 통한 종합적인 저항성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

이전 연구에서 국립농업과학원의 LAB계통은 MED계통으로 연구되었으며(Kim et al., 2021), MED계통의 경우 biotype Q로 neonicotinoid계 약제에서 상대적으로 낮은 살충활성을 보였다(Lee et al., 2012). 또한 국내 담배가루이는 MED계통이 주로 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Guo et al., 2022; Kim et al., 2021; Lee et al., 2012).

앞선 연구에서는 주로 LAB계통 담배가루이의 biotype에 대한 연구를 통해 계통을 파악하여 다른 지역 계통과의 비교를 위한 용도로 이용되었으나, 본 연구에서는 국내 시판되고 있는 약제에 대한 약제 반응을 파악하여 각 지역 개체군과의 비교를 통해 저항성 발현을 파악하고자 하였다.

LAB계통에서 flonicamid가 낮은 살충 활성을 보이는 것은 1990년대 후반부터 개발되어 왔으며, 2005년과 2006년에 세계 여러 나라에서 사용되었고, 우리나라도 그 중 하나이다(Morita et al., 2007). 우리나라에서는 2005년 진딧물류와 담배가루이에 처음 등록되어 사용하였으며, 점차 적용작물과 대상 해충이 확대되었다(RDA, 2024). Dinotefuran은 2002년 STARKLE™ 및 ALBARIN™이라는 이름으로 일본에서 출시되어 널리 사용되었으며(MCCLS, 2024), 우리나라에서는 2003년 오이 담배가루이에 처음 등록되었다(RDA, 2024). Pyriproxyfen은 Ishaaya and Horowitz (1995)의 연구에서 담배가루이와 온실가루이 암컷 성충에 약제를 노출시킨 후 얻은 알의 부화율에 대한 연구를 진행하였는데, 이때 이용한 저항성 개체군은 1991년 채집된 개체군으로 이미 상당히 높은 저항성을 취득한 것으로 보고하였다. 국내에서는 2008년 오이 담배가루이와 온실가루이에 처음 등록되었다(RDA, 2024).

본 연구에서 사용한 LAB계통은 야외 개체군을 채집하여 오랜 기간 누대 사육한 개체지만 채집 당시 이미 3종의 약제(Flonicamid, Dinotefuran, Pyriproxyfen)에 대한 저항성 인자를 이미 취득하고 있었을 개연성이 높았을 것으로 생각되며 이로 인해 지역 개체군 보다 낮은 치사율을 보였을 것으로 생각된다. 그리고 Ahmad and Arif (2009)의 연구에서 지역 개체군 중 모든 약제에서 LC<sub>50</sub> 값이 상당히 낮은 개체군을 저항성과 비교하기 위한 비교 개체군으로 설정하였으며, 완벽한 감수성 계통은 아니지만 충분히 기준으로 삼을 수 있다고 하여 LAB계통은 충분히 저항성 연구를 위한 야외 계통 간의 비교군으로 사용하기에 적합하다고 판단되나, flonicamid와 pyriproxyfen의 경우 추가적인 검증이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서 생물 검정과 저항성 검정을 통해 8종의 약제에 대한 살충율을 비교 분석하였으며, 저항성비(RR)와 방제 효과지수(CEI)를 통해 저항성 발현 정도를 판단하였다. 이전 연구에서는 저항성 평가를 방법으로 Ahmad and Arif (2009)는 Resistance Factor (RF)를 제안하였으며, 저항성이 RF = 1이면 없음, RF = 2~10이면 매우 낮음, RF = 11~20

이면 낮음, RF = 21~50이면 보통, RF = 51~100이면 높음, RF > 100이면 매우 높음으로 정의하였다. RF 값은 야외 개체군의 각 시험 약제에 대한 LC<sub>50</sub> 값을 LAB계통의 LC<sub>50</sub> 값에 나누어 산출한 것으로 이후 연구에서 RR과 유사한 의미로 해석하여 이용하였다(Ahmad et al., 2010; Basit et al., 2011, 2013; Ji et al., 2023). 그러나 RR이 낮음에도 실제 저항성 평가 실험에서 살충 효과가 미비한 경우가 많았기에 이 지수만 가지고 저항성의 여부를 판단하기엔 어려움이 있었다. 그리고 CEI는 약제의 살충 효과를 (야외 개체군의 각 시험 약제에 대한 LC<sub>90</sub>/각 시험 약제의 권장 농도)로 계산한 값이기 때문에 이 지수도 종합적인 해충 방제 전략을 세우는데 합리적 개념으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업 ‘농작물 주요 해충에 대한 농약저항성 조사(RD-2022-RD010420)’의 지원을 받아 연구되었습니다.

## Author Information and Contributions

Myeonghwan Kim: Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Doctor student, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6163-0506>

Taeyeong Kwon, Eun Young Choi, and Jong Bong Choi: Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Doctor student.

Seungmin Shin, Hee Soo Lee, and Sodavy Gnim: Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Master student.

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

Jong Kyun Park, Kyungpook National University, Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-4049-3546>

Research design; Kim MH, Park JK, Investigation; Kim MH, Kwon TY, Shin SM, Lee HS, Choi EY, Choi JB, Sodavy G, Data analysis; Kim MH, Lee DW, Writing-review & editing; Kim MH, Lee DW, Park JK.

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature Cited

- Abbas A, Iqbal J, Zeshan A, Ali Q, Nadeem I, et al., 2022. Lethal and sublethal effects of flonicamid (50 WG) and spirotetramat (240 SC) on *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): an age-stage two sex life table study. *Phytoparasitica* 50:727-742.
- Abubakar M, Koul B, Chandrashekar K, Raut A, Yadav D, 2022. Whitefly (*Bemisia tabaci*) management (WFM) strategies for sustainable agriculture: a review. *Agriculture* 12(9):1317.
- Ahmad M, Arif MI, 2009. Resistance of Pakistani field populations of spotted bollworm *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphorus and new chemical insecticides. *Pest Manag. Sci.* 65:433-439.
- Ahmad M, Arif MI, Naveed M, 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.
- Ahn KS, Lee KY, Choi MH, Kim JW, Kim GH, 2001. Effect of temperature and host plant on development and reproduction of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 40(3):203-209. (In Korean)
- Basit M, Saeed S, Saleem MA, Denholm I, Shah M, 2013. Detection of resistance, cross-resistance, and stability of resistance to new chemistry insecticides in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 106(3):1414-1422.
- Basit M, Sayyed AH, Saleem MA, Saeed S, 2011. Cross-resistance, inheritance and stability of resistance to acetamiprid in cotton whitefly, *Bemisia tabaci* Genn (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection* 30(6):705-712.
- Bedford ID, Briddon RW, Brown JK, Rosell RC, Markham PG, 1994. Geminivirus transmission and biological characterization of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes from different geographic regions. *Ann. Appl. Biol.* 125(2):311-325.
- Bielza P, Moreno I, Belando A, Grávalos C, Izquierdo J, et al., 2019. Spiromesifen and spirotetramat resistance in field populations of *Bemisia tabaci* Gennadius in Spain. *Pest Manag. Sci.* 75(1):45-52.
- Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC, 1995. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annu. Rev. Entomol.* 40:511-534.
- Choi JH, Lee HW, Lee JW, Kim YS, Yu HB, et al., 2023. Evaluation of insecticide activities against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), collected from greenhouse pepper cultivation areas in Gyeongsangbuk-do. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(3): 232-241. (In Korean)
- Cuthbertson AGS, Blackburn LF, Northing P, Luo W, Cannon RJC, et al., 2009. Leaf dipping as an environmental screening measure to test chemical efficacy against *Bemisia tabaci* on poinsettia plants. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 6(3):347-352.
- Fernández E, Grávalos C, Haro PJ, Cifuentes D, Bielza P, 2009. Insecticide resistance status of *Bemisia tabaci* Q-biotype in south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.* 65(8):885-891.
- Firdaus S, Vosman B, Hidayati N, Supena EDJ, Visser RGF, et al., 2013. The *Bemisia tabaci* species complex: Additions from different parts of the world. *Insect Sci.* 20(6):723-733.
- Guo CL, Jeong IH, Chu D, Zhu YZ, 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.
- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE, Redinbaugh MG, 2008. Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.* 46:327-359.
- Horowitz AR, Gorman K, Ross G, Denholm I, 2003. Inheritance of pyriproxyfen resistance in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Q Biotype). 54(4):177-186.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), 2009. IRAC Susceptibility test methods series No. 16. <https://irac-online.org>. (Accessed Jul. 29. 2022).
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), 2016. IRAC Susceptibility test methods series No. 15. <https://irac-online.org>. (Accessed Jul. 29. 2022).
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), 2024. Mode of action classification. <https://irac-online.org>. (Accessed Jul. 30. 2024).
- Ishaaya I, Horowitz AR, 1995. Pyriproxyfen, a novel insect growth regulator for controlling whiteflies: mechanisms and resistance management. *Pestic. Sci.* 43(3):227-232.
- Isman MB, Miresmailli S, Machial C, 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem. Rev.* 10:197-204.
- Jeong IH, Lee SK, Gao Y, Jeon SW, Park BY, et al., 2017. Assessment of resistance levels of *Plutella xylostella* field populations to 11 pesticides and concept establishment for pesticide efficacy index. *Korean J. Pestic. Sci.* 21(2):214-223. (In Korean)
- Jeong JW, Moon SR, Cho SR, Shin YH, Kim GH, 2010. Repellent effect of wild mint oil against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Korean J. Pestic. Sci.* 14(4):433-439. (In Korean)
- Jones DR, 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Euro. J. Plant Pathol.* 109:195-219.
- Kanakala S, Ghanim M, 2019. Global genetic diversity and geographical distribution of *Bemisia tabaci* and its bacterial endosymbionts. *PLoS One* 14(3):e0213946.
- Kang DH, Koo HN, Kim GH, 2024. Evaluation of resistance using control efficacy index and cross-resistance analysis of 11 insecticides in field populations of cotton aphids, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Korean J. Pestic. Sci.* 28(2):160-170. (In Korean)
- Kang DH, Lee YN, Kim SE, Moon HH, Kim SY, et al., 2023.

- Susceptibility assessment of cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) field populations in Korea to 11 insecticides. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(3):259-271. (In Korean)
- Kim EH, Sung JW, Yang JO, Ahn HG, Yoon CM, et al., 2007. Comparison of insecticide susceptibility and enzyme activities of biotype B and Q of *Bemisia tabaci*. *Korean J. Pestic. Sci.* 11(4):320-330. (In Korean)
- Kim GH, Lee YS, Lee IH, Ahn GS, 2000. Susceptibility of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae) to commercially registered insecticide in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 4(1):51-58. (In Korean)
- Kim SH, Kim SJ, Cho SS, Lee SH, 2021. Insecticide resistance monitoring of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 60(2):167-173. (In Korean)
- Kontsedalov S, Abu-Moch F, Lebedev G, Czosnek H, Horowitz AR, et al., 2012. *Bemisia tabaci* biotype dynamics and resistance to insecticides in Israel during the years 2008-2010. *J. Integ. Agri.* 11(2):312-320.
- Korean Statistical Information Services (KOSIS), 2023. Vegetable production survey (fruits and vegetables). [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?conn\\_path=K2&tblId=DT\\_1ET0021&orgId=101](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?conn_path=K2&tblId=DT_1ET0021&orgId=101). (Accessed Sep. 21. 2024).
- Lee BJ, Han JH, Huang JH, Kim JJ, Lee SY, 2017. Influence of pre-treated eco-friendly agricultural materials on control efficacy of *Isaria javanica* isolate against sweet potato whitefly (*Bemisia tabaci*). *Korean J. Org. Agric.* 25(3):631-642. (In Korean)
- Lee HW, Choi JH, Lee JW, Kim YS, Yu HB, et al., 2023. Response of 5 insecticides to *Frankliniella occidentalis* occurring on tomato cultivation at the greenhouse in Gyeongsang area. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(4):352-360. (In Korean)
- Lee ML, Ahn SB, Cho WS, 2000. Morphological characteristics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and discrimination of their biotypes in Korea by DNA markers. *Korean J. Appl. Entomol.* 39(1):5-12. (In Korean)
- Lee YS, Kim JY, Hong SS, Park JA, Park HH, 2012. Occurrence of sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its response to insecticide in Gyeonggi Area. *Korean J. Appl. Entomol.* 51(4):377-382. (In Korean)
- Mitsui chemicals crop & life solutions, INC, (MCCLS), 2024. Active ingredients dinotefuran. <https://www.mc-croplife-solutions.com/en/randd/active-ingredients/dinotefuran/> (Accessed Oct. 01. 2024).
- Morita M, Ueda T, Yoneda T, Koyanagi T, Haga T, 2007. Flonicamid, a novel insecticide with a rapid inhibitory effect on aphid feeding. *Pest Manag. Sci.* 63(10):969-973.
- Naranjo SE, Ellsworth PC, 2017. Methodology for developing life tables for sessile insects in the field using the whitefly, *Bemisia tabaci*, in cotton as a model system. *J. Vis. Exp.* (129), e56150, doi:10.3791/56150,
- Naveen NC, Chaubey R, Kumar D, Rebijith KB, Rajagopal R, et al., 2017. Insecticide resistance status in the whitefly, *Bemisia tabaci* genetic groups Asia-I, Asia-II-1 and Asia-II-7 on the Indian subcontinent. *Scientific Rep.* 7:40634.
- Oliveira MRV, Henneberry TJ, Anderson P, 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20(9):709-723.
- Pan HP, Chu D, Ge D, Wang S, Wu Q, et al., 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *J. Econ. Entomol.* 104(3):978-985.
- Perring TM, 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20(9):725-737.
- Roditakis E, Fytro N, Staurakaki M, Vontas J, Tsagkarakou A, 2014. Activity of flonicamid on the sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. *Pest Manag. Sci.* 70(10):1460-1467.
- Rubinstein G, Morin S, Czosnek H, 1999. Transmission of tomato yellow leaf curl geminivirus to imidacloprid treated tomato plants by the whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 92(3):658-662.
- Rural Development Administration (RDA), 2024. Pesticide safety information system. <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps> (Accessed Oct. 01. 2024).
- SAS/STAT® 9.3 user's guide, 2011. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Song JH, Lee KJ, Yang YT, Lee SC, 2014. Sampling plan for *Bemisia tabaci* adults by using yellow-color sticky traps in tomato greenhouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 53(4):375-380. (In Korean)
- Stará J, Hovorka T, Horská T, Zusková E, Kocourek F, 2024. Pyrethroid and carbamate resistance in Czech populations of *Myzus persicae* (Sulzer) from oilseed rape. *Pest Manag. Sci.* 80(5):2342-2352.
- Wagner TL, 1995. Temperature-dependent development, mortality, and adult size of sweetpotato whitefly biotype B (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton. *Envir. Entomol.* 24(5):1179-1188.
- Wang F, Liu J, Chen P, Li HY, Ma JJ, et al., 2020. *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) insecticide resistance in Shandong province, China. *J. Eco. Entomol.* 133(2):911-917.
- Yao FL, Zheng Y, Huang XY, Ding XL, Zhao JW, et al., 2017. Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian province in China during 2005-2014. *Scientific Rep.* 7:40803.

## 오이시설에서 발생하는 담배가루이(*Bemisia tabaci*)에 대한 8종 살충제의 저항성 평가

김명환<sup>1</sup> · 권태영<sup>1</sup> · 신승민<sup>1</sup> · 이희수<sup>1</sup> · 최은영<sup>1</sup> · 최종봉<sup>1</sup> · Sodavy Gnim<sup>1</sup> · 이동운<sup>1,2,3\*</sup> · 박종균<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>경북대학교 곤충생명과학과, <sup>3</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소

**요약** 본 연구에서는 국내 15개 지역의 시설오이 재배지에서 채집한 담배가루이에 대해 등록된 유기합성살충제 중 사용량이 많고 작용기작이 다른 8종의 약제(Flonicamid, Fluxametamide, Spinetoram, Cyantraniliprole, Dinotefuran, Pyridaben, Milbemectin, Pyriproxyfen)를 선발하여 살충활성과 저항성 검정을 진행하였다. 저항성 평가는 저항성비(RR, Resistance ratio)와 방제효과지수(CEI, Control efficacy index)를 이용하였다. 그 결과, 지역간, 약제간 다양한 약제 반응이 나타났으며 상호작용도 있었다. 저항성비(RR)와 방제효과지수(CEI)는 대체적으로 유사한 경향을 보였으나 구례 지역계통의 flonicamid 처리에서 RR는 2.5, CEI는 189.0으로 차이를 보였다. Pyriproxyfen은 군위 지역계통에서 RR (272.7)와 CEI (342.0)로 가장 높았다. 이번 연구 결과는 국내 담배가루이의 저항성 발달 양상을 이해하기 위한 기초자료로, 향후 오이재배지에서 담배가루이의 지역별 관리 방안 수립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**색인어** 생물검정, 방제효과지수, 해충방제, 농약, 감수성