

# 전국 담배가루이 약제 저항성 조사

김상현<sup>1</sup> · 김성진<sup>1</sup> · 조수지<sup>1</sup> · 이시혁<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부 곤충학전공, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명공학대학 농생명공학연구원

## Insecticide Resistance Monitoring of *Bemisia tabaci*(Hemiptera: Aleyrodidae) in Korea

Sanghyeon Kim<sup>1</sup>, Sung Jin Kim<sup>1</sup>, Susie Cho<sup>1</sup> and Si Hyeock Lee<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea<sup>2</sup>Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

**ABSTRACT:** Sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) is an insect pest with sucking mouth part and globally attacks diverse crops and vegetables. Since first reported in 1998, it is now widely spread in many regions in Korea. Due to insecticide resistance, it is necessary for optimal control of the whiteflies to select effective insecticides with precise insecticide resistance monitoring. In this study, *B. tabaci* individuals were collected from 12 regions in 7 provinces of Korea from June to September in 2020. Using these field populations, insecticide resistance levels were monitored using a residual contact bioassay along with molecular markers. Bioassay results revealed that *B. tabaci* possessed high levels of resistance to five insecticides exhibiting different modes of action: dinotefuran, spinosad, emamectin benzoate, chlorfenapyr, and bifenthrin. In addition, quantitative sequencing in target sites of organophosphate and pyrethroid insecticides revealed that point mutations reached to saturated or near-saturated levels across the country. This suggests that insecticide resistance management is required for effective control of *B. tabaci* populations in Korea.

**Key words:** *Bemisia tabaci*, insecticide resistance, residual contact vial, molecular marker, Korea

**조 록:** 담배가루이(*Bemisia tabaci* (Gennadius))는 전세계적으로 다양한 작물을 가해하고 있는 흡즙성 해충이다. 국내에서는 1998년에 최초로 유입이 보고되었고 현재 전국에 널리 퍼져 농가에 경제적으로 큰 손실을 주고 있다. 담배가루이의 주 방제방법인 화학적 방제를 위해서는 정확한 약제 저항성 진단을 바탕으로 한 약제 선택이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 2020년 6월부터 10월까지 전국 7개도 12지역의 온실에서 담배가루이를 채집하여 잔류접촉법 기반 생물검정 및 분자마커를 통해 약제 저항성을 진단하였다. 그 결과, 작용기작이 다른 5종 약제(dinotefuran, spinosad, emamectin benzoate, chlorfenapyr 및 bifenthrin)에 대해 전국적으로 높은 저항성을 지니고 있으며 유기인계 및 피레스로이드계 약제에 대한 저항성 점돌연변이가 포화상태임을 확인하였다. 이는 약제 저항성 모니터링에 기반한 담배가루이 약제 저항성 관리가 시급하다는 것을 시사한다.

**검색어:** 담배가루이, 약제 저항성, 잔류접촉법, 분자마커, 한국

담배가루이(*Bemisia tabaci* (Gennadius))는 전세계적으로 문제가 되고 있는 흡즙성 해충으로서 약 900종 이상의 식물을 기주로 삼으며 체관부 흡즙, 감로 배설을 통한 광합성 효율 저해 및 토마토황화잎말림바이러스, 카사바갈색줄무늬병 바이러스 등의 식물 바이러스를 매개하여 경제적으로 큰 피해를 끼

치고 있다(Byrne and Bellows, 1991). 국내에서는 1998년 충북 진천에서 최초로 보고되었으며 단기간 내에 전국적으로 분포가 확산되었다(Lee et al., 2000). 고온다습 환경을 선호하는 특성 때문에 온실에서 큰 피해를 주고 있으며 빠른 저항성 발달로 인해 대표적인 난방제 해충으로 꼽힌다(Naveen et al., 2017; Wagner, 1995). 세계적으로 MEAMI (Middle East-Asia Minor 1, biotype B) 및 MED (Mediterranean, biotype Q)계통을 포함한 다양한 계통의 약제 저항성이 보고되어 왔으며(Kontsedalov

\*Corresponding author: shlee22@snu.ac.kr

Received November 18 2020; Revised December 21 2020

Accepted December 31 2020

et al., 2012; Pan et al., 2011; Perring, 2001) 국내에서도 여러 약제에 대한 저항성 발달이 보고되고 있다(Lee et al., 2012). 살충제의 무분별한 오남용은 약제 저항성 발달을 가속화시키므로 정확한 저항성 진단을 바탕으로 한 정밀 방제가 시급한 실정이다.

본 실험에서는 국내 온실에 분포하고 있는 담배가루이의 약제 저항성 정도를 파악하기 위해서 두가지 기법으로 접근하였다. 잔류접촉법(residual contact method) 기반 생물검정을 통해 지역별 담배가루이 개체들의 실제 약제 저항성 정도를 확인하였으며 분자마커 기반 정량적염기서열분석법(quantitative sequencing)을 통해 개체군 내 저항성 돌연변이 비율을 확인하여 이를 저항성 정도와 비교하여 저항성 분자마커의 현장 적용 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 담배가루이 채집

채집은 2020년 6월부터 10월까지 전국 7개도(경기, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남 및 제주) 12지역(평택, 진천, 공주, 논산, 익산, 임실, 보성, 예천, 구미, 진주, 김해, 서귀포)의 온실을 대상으로 수행되었다(Table 1). 성충 암컷 담배가루이를 토마토, 오이, 애호박, 고추 기주에서 채집하였으며 저항성 점 돌연변이 비율 조사를 위해서는 채집된 담배가루이를 75% 에탄올에 넣어 사용 전까지 -20°C에 보관하였다. 농촌진흥청에서 10년 이상 약제 무처리 누대사육을 해온 담배가루이 MED 계

통(RDA)을 제공받아 지역 샘플 대비 상대적 감수성 계통으로 실험을 수행하였다.

### 생물검정 기반 저항성 조사

저항성 진단을 위해 잔류접촉법 기반 생물검정을 수행하였다. 약제는 담배가루이 방제용으로 등록되어 있는 dinotefuran, spinosad, emamectin benzoate, chlorfenapyr 및 bifenthrin을 대상으로 하였다. 각 약제의 원제는 100% 아세톤에 희석하여 5 ml 크기의 유리 바이오펀에 100 µl씩 도포 후 후드 내에서 회전 증발기를 통해 건조하였다. 각 약제 별 3반복씩 수행하였으며 한 반복 당 10-15마리의 담배가루이 암컷 성충(RDA 계통의 경우 우화 후 3일차의 성충 사용)을 흡충기를 통해 유리바이오펀에 접촉하였다. 수분 제공을 위해 뚜껑 안쪽에 부착된 2 mm × 2 mm 크기의 거름종이에 1 µl의 물을 도포하였다. 담배가루이가 접촉된 바이오펀은 25°C 암조건에 보관되었으며 모든 약제에 대해 접촉 8시간 후 사충률을 확인하였다.

저항성 진단농도 설정을 위해 RDA 계통을 대상으로 잔류 접촉법을 수행하였다. 약제 별 처리 농도는 emamectin benzoate: 0, 1, 10, 250 mg/kg; chlorfenapyr: 0, 0.2, 2, 8, 20 mg/kg; dinotefuran: 0, 20, 100, 500, 2,000 mg/kg; bifenthrin: 0, 1, 10, 100 mg/kg; spinosad: 0, 1, 10, 50 mg/kg이었다.

### 저항성 점 돌연변이 비율 조사

유기인계/ 카바메이트계 약제의 작용점유전자인 acetylcholi-

**Table 1.** Information about *B. tabaci* field strains

No.	Collection site	Collection date	GPS coordinates	Host plant	Note
1	Pyeongtaek-si (PT)	2020-06-18	37°07'22.1"N 127°03'32.3"E	Tomato	
2	Jincheon-gun (JC)	2020-10-29	36°49'33.0"N 127°24'17.0"E	Cucumber	
3	Gongju-si (GJ)	2020-06-18	36°30'25.6"N 127°07'23.1"E	Cucumber	
4	Nonsan-si (NS)	2020-06-19	36°07'56.8"N 127°07'45.8"E	Cucumber	
5	Iksan-si (IS)	2020-10-26	36°03'13.6"N 126°54'56.6"E	Tomato	No synthetic pesticides
6	Imsil-gun (ImS)	2020-10-26	35°34'49.2"N 127°12'29.2"E	Tomato	No synthetic pesticides
7	Boseong-gun (BS)	2020-10-26	34°51'30.5"N 127°19'59.1"E	Tomato	
8	Jinju-si (JJ)	2020-10-27	35°06'47.0"N 128°05'37.2"E	Chili pepper	
9	Gimhae-si (GH)	2020-10-27	35°14'12.7"N 128°57'47.8"E	Tomato	
10	Gumi-si (GM)	2020-10-28	36°13'15.9"N 128°23'20.9"E	Tomato	
11	Yecheon-gun (YC)	2020-10-28	36°42'40.0"N 128°30'01.6"E	Tomato/Pumpkin	
12	Seogwipo-si (SGP)	2020-09-22	33°16'03.0"N 126°15'47.4"E	Tomato	

nesterase (*ace1*, gene ID: LOC109029639) 1, 네오니코티노이드 약제의 작용점유전자인 nicotinic acetylcholine receptor  $\beta$  1 (*nAChR $\beta$ 1*, gene ID: LOC109043254), 피레스로이드계 약제의 작용점유전자인 voltage gated sodium channel (*vgsc*, gene ID: LOC109039786) 상에 존재하는 저항성 돌연변이의 개체군 내 빈도를 PCR 및 정량적염기서열분석법(quantitative sequencing)을 통해 조사하였다. *ace*에서는 담배가루이에서 유기인계 저항성을 유발하는 것으로 보고된 F392W 돌연변이를 (Alon et al., 2008), *nAChR $\beta$ 1*에서는 담배가루이에서는 보고된 바 없지만 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*) 및 목화진딧물(*Aphis gossypii*)에서 네오니코티노이드계 약제에 저항성을 유발하는 것으로 보고된 R81T 돌연변이에 상응하는 R79 상의 돌연변이 여부를 확인하였다(Bass et al., 2011; Kim et al., 2015). *vgsc*에서는 담배가루이에서 피레스로이드계 약제에 저항성을 유발하는 것으로 보고된 L925I/T929V 돌연변이 비율의 합을 확인하였다(Morin et al., 2002; Roditakis et al., 2006).

담배가루이 성충 암컷 30마리에서 DNeasy Blood & Tissue kit (Qiagen, Hilden, Germany)를 이용하여 게놈DNA를 추출하여 ND-1000 Nanodrop (NanoDrop, Wilmington, NC, USA)을 통해 정량하였다. 10 ng의 게놈DNA를 Table 2에 있는 조건

으로 Ex Taq polymerase (TAKARA Korea Biomedical Inc., Seoul, Korea)를 이용하여 PCR하였고 그 결과물을 Monarch PCR & DNA cleanup kit (NEB, Ipswich, MA, USA)를 이용하여 PCR 정제 후 염기서열분석을 진행하였다. 염기서열분석 결과에서 해당 돌연변이 위치의 피크 비율을 계산하여 개체군 내 저항성 돌연변이 비율을 추정하였다.

## 담배가루이 계통 조사

추출한 게놈DNA를 통해 각 지역샘플이 MED와 MEAM1 중 어느 계통에 속하는지 조사하였다. Forward primer로는 F-BQ-880(5'-TGGAATAGATGTAGATACTC-3')를 reverse primer로는 R-BQ-1460(5'-CTTACACCAAGCCTAAATCT-TACTA-3')를 이용하여 mtCOI 유전자의 부분 염기서열(555 bp)을 증폭시켰다(Tang et al., 2020). PCR 조건은 95°C 3분 후 95°C 30초, 52°C 30초, 72°C 1분의 조건으로 34회 반복 증폭시키고 72°C로 5분간 처리하였다. PCR 결과물은 정제 후 R-BQ-1460 프라이머로 염기서열 분석 후 NCBI BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)를 통해 계통을 확인하였다.

**Table 2.** Information of PCR condition for point mutation allele ratio diagnosis

Target gene	Gene symbol	Primer name	Direction	Sequence	Tm (°C)	Product size	PCR condition
Nicotinic acetylcholine receptor $\beta$ 1 subunit	LOC109043254	BtnAChR_F1	Forward	ATTGCCAAGCTACTTGCAAACC	60.1	509	95°C 3 min 95°C 30sec, 52.3°C 30sec, 72°C 30sec 34 cycles 72°C 5 min
		BtnAChR_R1	Reverse	ATGGCTGCTGCTACTAAGGG	60.5		
		BtnAChR_R2	Reverse	ACGTCATACAAACGTCAACG	56.4		
Acetylcholinesterase 1	LOC109029639	Btace1_F1	Forward	GTGCTCGTGGAGAACGAGAG	62.5	316	95°C 3 min 95°C 30sec, 55°C 30sec, 72°C 30sec 34 cycles 72°C 5min
		Btace1_R1	Reverse	GGTTCAGCCAGTCCGTGTAC	62.5		
		Btace1_R2	Reverse	TGAAGTTGTACGGGTTGAGC	58.4		
Voltage-gated sodium channel	LOC109039786	Btvpsc_F1	Forward	CCCCAGTTCCGATGTATGTC	60.5	386	95°C 3 min 95°C 30 sec, 52.3°C 30sec, 72°C 30sec 34 cycles 72°C 5min
		Btvpsc_R1	Reverse	AAGTCCTGTAGCTAGGGGAC	60.5		
		Btvpsc_R2	Reverse	GGGACTGAACATCATACTG	60.5		

**Table 3.** Toxicological indexes of susceptible strain (RDA) against five insecticides and diagnostic doses

Insecticide	Observation time	N	Slope ( $\pm$ SE)	LC <sub>50</sub> (ppm)	LC <sub>90</sub> (ppm)	Diagnostic dose (ppm)
Emamectin benzoate	8 h	183	0.75 $\pm$ 0.03	140	6990	2800
Chlorfenapyr	8 h	183	1.5 $\pm$ 0.06	18.4	130	260
Dinotefuran	8 h	180	0.96 $\pm$ 0.03	920	19812	1840
Bifenthrin	8 h	182	1.3 $\pm$ 0.04	9.02	23.1	460
Spinosad	8 h	181	0.96 $\pm$ 0.03	12.2	263	526

## 결과 및 고찰

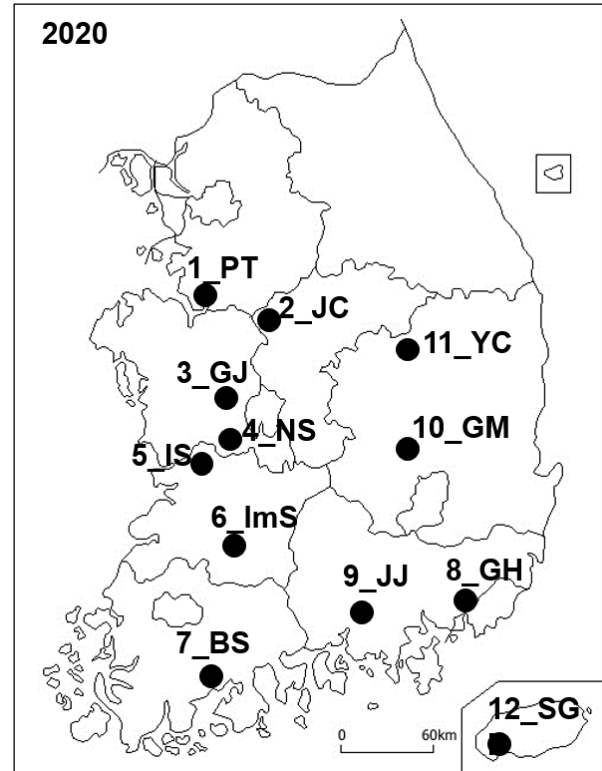
### 약제 5종에 대한 감수성 계통의 저항성 정도 평가

상대적 감수성 계통인 RDA의 약제 5종에 대한 저항성 정도를 확인하였다(Table 3). 각 약제의 LC<sub>90</sub> 순위는 dinotefuran (19,812 ppm), emamectin benzoate (6,990 ppm), spinosad (263 ppm), chlorfenapyr (130 ppm), bifenthrin (23.1 ppm) 순으로 나타났다. dinotefuran의 높은 LC<sub>90</sub> 값은 침투이행성은 높으나 접촉 독성은 낮은 약제의 특성에 기인한 것으로 보인다(Qu et al., 2017).

### 담배가루이 지역 샘플의 잔류접촉법 기반 저항성 정도 평가

총 12지역의 온실(Fig. 1)에서 채집한 담배가루이를 대상으로 잔류접촉법을 통해 저항성을 평가하였다(Fig. 2). 각 약제의 진단농도는 RDA 계통의 감수성 정도를 기반으로 설정하였다. chlorfenapyr, bifenthrin, spinosad는 RDA 계통 LC<sub>90</sub>의 2배 농도를 진단농도로 설정하였으며 emamectin benzoate 및 dinotefuran은 높은 LC<sub>90</sub> 농도로 인해 각각 LC<sub>50</sub>의 2배, 20배를 진단농도로 설정하였다. 가장 높은 저항성 발달을 보인 약제는 chlorfenapyr로 진단농도에서 전국 평균 14%의 낮은 사충률을 보였으며 제주 계통의 경우 사충률이 0%로 높은 저항성을 보유한 것을 확인하였다. 가장 높은 사충률을 보인 약제는 spinosad로 87%의 높은 지역 평균 사충률을 나타내었다. dinotefuran과 emamectin benzoate는 타 약제에 비해 상대적으로 낮은 진단농도로 처리하였음에도 불구하고 각각 71%, 43%의 사충률을 보였다.

지역별로 저항성을 비교해봤을 때 시험 약제에 대해 전반적으로 가장 높은 저항성을 보인 계통은 예천 계통이었으며 가장 낮은 저항성을 보인 계통은 김해 계통이었다. 예천 계통은 spinosad를 제외한 모든 약제에 50% 미만의 사충률을 보여준 반면 김해 계통은 모든 약제에 대해 50% 이상의 높은 사충률을 보여주었다. 익산과 임실 계통은 합성 약제를 사용하지 않

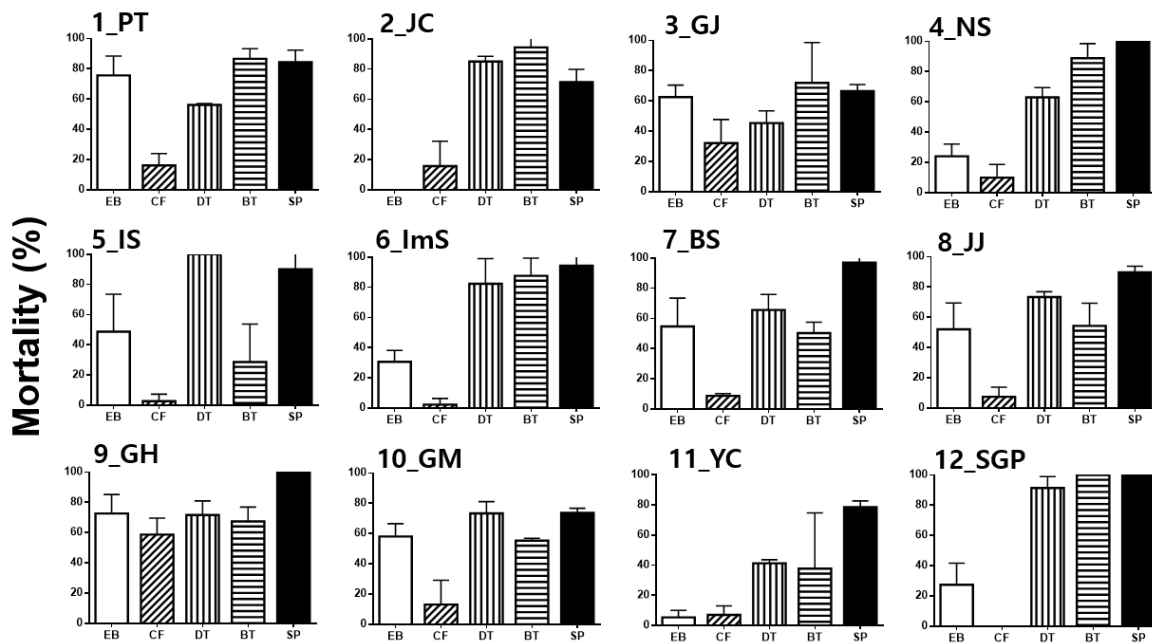


**Fig. 1.** Sampling sites of *B. tabaci*. Detailed information is on Table 1.

았음에도 chlorfenapyr에 사충률 2.7%와 2.3%로 높은 저항성을 나타냈다. 이는 chlorfenapyr 저항성이 한번 확보되면 선택압 없이도 장기간 유지될 수 있음을 시사한다.

### 담배가루이 지역 샘플 계통 조사

담배가루이 지역 샘플은 모두 MED 계통으로 확인되었다. 이는 국내에서 MEAM1 계통이 사라지고 있는 동향과 일치한다(Lee et al., 2014; Park et al., 2012). MED 계통은 MEAM1 계통에게 약제 선택압이 없는 경우 경쟁에서 밀리나 네오니코티노이드계 약제 처리하에서는 높은 저항성으로 인해 경쟁우위를 가지는 것으로 알려져 있다(Horowitz et al., 2005). 따라



**Fig. 2.** Bioassay results (mean±SD) of *B. tabaci* field strains. EB, emamectin benzoate; CF, chlorfenapyr; DT, deltamethrin; BT, bifenthrin; SP, spinosad.

서 MED계통의 우위로부터 국내 담배가루이의 네오니코티노이드계 약제 저항성이 전반적으로 높음을 예상할 수 있다. 지역 샘플 mtCOI 유전자 부분 염기서열은 Supplementary information에 첨부하였다.

### 담배가루이 지역 샘플의 분자마커 기반 저항성 비율 조사

상대적 감수성 계통 및 지역 계통에서 유기인계, 피레스로이드계, 네오니코티노이드계의 표적 유전자인 *ace1*, *vgsc*, *nAChRβ1* 상의 저항성 점 돌연변이의 비율을 조사하였다(Table 4). 해당 염기서열은 Supplementary information에 첨부하였다. *ace1* 상의 저항성 점 돌연변이인 F392W는 모든 계통에서 100%의 빈도로 존재하는 것으로 확인되었으며 *vgsc* 상의 돌연변이인 L925I/T929V의 합 또한 대부분의 지역에서 100%에 육박하는 것으로 나타났다. 이는 국내 담배가루이 계통에서 이들 저항성 돌연변이가 포화 되었음을 시사한다. 유기인계 약제의 사용량 감축에 따른 도태압의 현저한 감소에도 불구하고 *ace1* F392W 돌연변이가 포화된 것으로 관찰되므로 이들 돌연변이는 낮은 적응 비용(fitness cost)을 가진 것으로 추정되며 개체군 내에서 완전히 소멸되기까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다. 네오니코티노이드계 약제의 표적유전자인 *nAChRβ1* 상에서는 저항성 돌연변이가 발견되지 않았지만 예천, 공주 등의 생물검정 결과에서는 저항성을 지닌 것으로 보아 분

**Table 4.** Point mutation alleles ratios of *B. tabaci* in Korea, 2020. ND, not detected

Regional strain	Mutation allele ratio (resistant allele/total allele)		
	<i>ace</i>	<i>nAChRβ1</i>	<i>vgsc</i>
RDA	1.00	ND	0.99
PT	1.00	ND	0.99
JC	1.00	ND	1.00
GJ	1.00	ND	0.98
NS	1.00	ND	0.98
IS	1.00	ND	1.00
ImS	1.00	ND	1.00
BS	1.00	ND	1.00
JJ	1.00	ND	1.00
GH	1.00	ND	1.00
GM	1.00	ND	1.00
YC	1.00	ND	1.00
SGP	1.00	ND	1.00

해대사관련 유전자들의 발현이 저항성 발달에 영향을 미치고 있는 것으로 추정된다(Karunker et al., 2008). 따라서 대사저항성 관련 분자마커의 발굴을 통한 네오니코티노이드 저항성의 지속적 모니터링이 시급한 것으로 보인다.

종합하자면, 본 연구에서는 국내 온실에서 발생하는 담배가루이의 약제 저항성을 생물검정과 분자마커를 통해 진단하였

다. 생물검정 결과, 지역별, 약제별로 그 정도가 상이하나 전국적으로 모든 약제에 대해 저항성이 발달해 있으며 네오니코티노이드계 약제에 높은 저항성을 지닌 것으로 알려진 MED 계통의 비율이 높음을 확인하였다. 저항성 점 돌연변이의 비율을 조사한 결과, 유기인계 및 피레스로이드계 약제에 대한 저항성 점 돌연변이는 이미 국내에 포화 상태인 것으로 밝혀졌으므로 이들 약제의 사용에 대한 규제가 필요할 것으로 사료된다. 조사된 모든 계통에서 돌연변이의 비율이 100%에 육박하여 실험에 사용된 분자마커로는 지역계통의 저항성 정도를 비교할 수 없었지만 후속연구를 통해 분해대사관련 유전자 상의 분자마커를 개발하여 저항성 진단 분자마커로서의 현장 적용 가능성을 확인해 볼 예정이다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청의 ‘시설 내 외래 미소해충의 화학적 방제력 및 약효증대기술 개발 (과제번호: PJ013356)’ 와 Brain Korea Plus 21의 지원에 의해 수행되었습니다.

## Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>).

## 저자 직책 & 역할

이시혁: 서울대, 교수; 실험설계 및 논문작성  
 김상현: 서울대, 석박사통합과정; 실험수행 및 논문작성  
 김성진: 서울대, 석사과정; 실험수행  
 조수지: 서울대, 석박사통합과정; 실험수행

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

## Literature Cited

Alon, M., Alon, F., Nauen, R., Morin, S., 2008. Organophosphates' resistance in the B-biotype of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) is associated with a point mutation in an ace1-type acetylcholinesterase and overexpression of carboxylesterase. *Insect. Biochem. Molec.* 38, 940-949.

Bass, C., Puinean, A.M., Andrews, M., Cutler, P., Daniels, M., Elias, J., Paul, V.L., Crossthaite, A.J., Denholm, I., Field, L.M., Foster, S.P., Lind, R., Williamson, M.S., Slater, R., 2011.

Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor beta subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *BMC Neurosci.* 12.

Byrne, D.N., Bellows, T.S., 1991. Whitefly Biology. *Annu. Rev. Entomol.* 36, 431-457.

Horowitz, A.R., Kotsedalov, S., Khasdan, V., Ishaaya, I., 2005. Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance. *Arch. Insect. Biochem.* 58, 216-225.

Karunker, I., Benting, J., Lueke, B., Ponge, T., Nauen, R., Roditakis, E., Vontas, J., Gorman, K., Denholm, I., Morin, S., 2008. Overexpression of cytochrome P450 CYP6CM1 is associated with high resistance to imidacloprid in the B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Insect. Biochem. Molec.* 38, 634-644.

Kim, J.I., Kwon, M., Kim, G.H., Kim, S.Y., Lee, S.H., 2015. Two mutations in nAChR beta subunit is associated with imidacloprid resistance in the *Aphis gossypii*. *J. Asia-Pac. Entomol.* 18, 291-296.

Kotsedalov, S., Abu-Moch, F., Lebedev, G., Czosnek, H., Horowitz, A.R., Ghanim, M., 2012. *Bemisia tabaci* biotype dynamics and resistance to insecticides in Israel during the years 2008-2010. *J. Integr. Agr.* 11, 312-320.

Lee, M., Ahn, S., Cho, W., 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, W., Lee, S.M., Kim, C.S., Choi, H.S., Akimoto, S.I., Lee, K.Y., Lee, G.S., 2014. Three species of the *Bemisia Tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) complex in the Republic of Korea; Detection by an extensive field survey combined with a phylogenetic analysis. *Fla. Entomol.* 97, 155-161.

Lee, Y.-S., Kim, J.-Y., Hong, S.-S., Park, J., Park, H.-H., 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.

Morin, S., Williamson, M.S., Goodson, S.J., Brown, J.K., Tabashnik, B.E., Dennehy, T.J., 2002. Mutations in the *Bemisia tabaci* para sodium channel gene associated with resistance to a pyrethroid plus organophosphate mixture. *Insect. Biochem. Molec.* 32, 1781-1791.

Naveen, N.C., Chaubey, R., Kumar, D., Rebijith, K.B., Rajagopal, R., Subrahmanyam, B., Subramanian, S., 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 Reports* 7.

Pan, H.P., Chu, D., Ge, D.Q., Wang, S.L., Wu, Q.J., Xie, W., Jiao, X.G., Liu, B.M., Yang, X., Yang, N., Su, Q., Xu, B.Y., Zhang, Y.J., 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *J. Econ. Entomol.* 104, 978-985.

- 
- Park, J., Jahan, S.M.H., Song, W.G., Lee, H., Lee, Y.S., Choi, H.S., Lee, K.S., Kim, C.S., Lee, S., Lee, K.Y., 2012. Identification of biotypes and secondary endosymbionts of *Bemisia tabaci* in Korea and relationships with the occurrence of TYLCV disease. *J. Asia-Pac. Entomol.* 15, 186-191.
- Perring, T.M., 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop. Prot.* 20, 725-737.
- Qu, C., Zhang, W., Li, F., Tetreau, G., Luo, C., Wang, R., 2017. Lethal and sublethal effects of dinotefuran on two invasive whiteflies, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *J. Asia-Pac. Entomol.* 20, 325-330.
- Roditakis, E., Tsagkarakou, A., Vontas, J., 2006. Identification of mutations in the para sodium channel of *Bemisia tabaci* from Crete, associated with resistance to pyrethroids. *Pestic. Biochem. Phys.* 85, 161-166.
- Tang, X.T., Cai, L., Shen, Y., Xu, L.L., Du, Y.Z., 2020. Competitive Displacement between *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED and Evidence for Multiple Invasions of MED. *Insects* 11.
- Wagner, T.L., 1995. Temperature-dependent development, mortality, and adult size of sweetpotato whitefly biotype B (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton. *Environ. Entomol.* 24, 1179-1188.