

江苏 Q 型烟粉虱抗性监测及其靶标基因克隆^{*}

袁林泽¹ 王少丽² 陈雪林¹ 杜予州¹ 张友军² 王建军^{1**}

(1. 扬州大学园艺与植物保护学院 扬州 225009; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

摘要 应用成虫浸叶生测法研究了江苏省扬州、无锡和东台 3 个地区 Q 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 田间种群对 5 种杀虫剂的抗药性。结果表明,与相对敏感种群相比,Q 型烟粉虱田间种群已对氯氰菊酯和吡虫啉产生了低到中等水平抗性,对阿维菌素仍然表现敏感。进一步通过 RCR 扩增获得了长度分别为 287 bp 和 184 bp 的烟粉虱乙酰胆碱酯酶 *ace1* 和 *para*-同源钠离子通道基因片段。序列分析表明,江苏 Q 型烟粉虱存在与有机磷抗性相关的乙酰胆碱酯酶 F331W 突变和与拟除虫菊酯抗性相关的钠离子通道 L925I 和 T929V 突变。

关键词 烟粉虱,抗性监测,乙酰胆碱酯酶,钠离子通道,靶标抗性

Resistance monitoring and target gene cloning of *Bemisia tabaci* Q-biotype from Jiangsu Province

YUAN Lin-Ze¹ WANG Shao-Li² CHEN Xue-Lin¹ DU Yu-Zhou¹
ZHANG You-Jun² WANG Jian-Jun^{1**}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The levels of resistance in three field populations of the *Bemisia tabaci* Q-biotype from Yangzhou, Dongtai and Wuxi in Jiangsu Province to five representative insecticides were determined using the leaf dipping method. The result show that these three populations had low to moderate levels of resistance to cypermethrin and imidacloprid, but remain largely susceptible to abamectin compared to a relatively susceptible population. Two fragments of the *B. tabaci* acetylcholinesterase enzyme *ace1* and *para*-type voltage gated sodium channel gene, with respective lengths of 287 bp and 184 bp, were amplified by PCR. Sequence analysis suggested the presence of the F331W mutation in acetylcholinesterase *ace1* and L925I and T929V mutations in the sodium channel gene, mutations associated with resistance to organophosphate and pyrethroid insecticides, respectively.

Key words *Bemisia tabaci*, resistance monitoring, acetylcholinesterase, sodium channel, target-site associated resistance

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 属同翅目 Homoptera、粉虱科 Aleyrodidae、小粉虱属 *Bemisia*, 可通过吸取寄主植物汁液而危害棉花、烟草、蔬菜、花卉等多种经济作物,是一种世界性的重要害虫;同时,还可传播 110 多种植物病毒,是重要的传毒介体(Jones 2003)。根据其寄主范围、危害习性和传毒能力等方面的差异,烟粉虱又可分为多种生物型,其中 B 型烟粉虱是近二十年来入侵世界各国并暴发成灾的一种世界性重要害虫(罗晨

等 2002;褚栋等 2004)。近年来,Q 型烟粉虱在一些国家和地区的危害逐渐加重,并呈进一步传播蔓延趋势。褚栋等(2005)利用细胞色素氧化酶 I (CO I) 基因作为分子标记,通过同源性分析证实采自云南昆明市郊呈贡县斗南花卉市场一品红植株上的烟粉虱为 Q 生物型,这也是我国发现 Q 型烟粉虱的首次报道。随后,在北京、河南、浙江和山东等地也相继发现 Q 型烟粉虱(Chu *et al.*, 2006;徐婧等 2006;Chu *et al.*, 2007)。最近,对

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803005)。

^{**} 通讯作者, E-mail: drjianjun@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-12-23,接受日期:2011-01-07

北京、河北、江苏、安徽、浙江、上海、福建等地区的烟粉虱生物型监测发现, Q 型正在逐步取代 B 型成为烟粉虱的优势生物型(沈媛等, 2010; 潘慧鹏等, 2010)。

烟粉虱寄主范围广、繁殖力强、世代重叠、种群增长迅速, 目前国内外对烟粉虱的治理主要依赖于化学防治, 而大量化学杀虫剂的使用导致烟粉虱抗药性问题日益突出, 目前烟粉虱已对包括有机磷、拟除虫菊酯、氨基甲酸酯、新烟碱类、昆虫生长调节剂等在内的多种杀虫剂产生不同程度的抗性(Elbert and Nauen, 2000; Kady and Devine, 2003; 何玉仙和黄建, 2005; Roditakis *et al.*, 2005; 马德英等, 2007)。已有研究结果表明, 烟粉虱的抗药性机制包括酯酶、多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶代谢作用增强、乙酰胆碱酯酶不敏感和钠离子通道基因突变引起的神经敏感性降低(Byrne *et al.*, 2000; 王利华和吴益东, 2004; 何玉仙和黄建, 2005; Wang and Wu, 2007; Alon *et al.*, 2008; Karunker *et al.*, 2008; Tsagkarakou *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009)。本文对江苏扬州、东台、无锡 3 个地区 Q 型烟粉虱田间种群进行了抗性监测, 并克隆了 Q 型烟粉虱乙酰胆碱酯酶 *ace1* 基因和钠离子通道基因片段, 旨在为在江苏地区 Q 型烟粉虱的化学防治和抗性治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试烟粉虱种群

供试烟粉虱于 2009 年 7-9 月份采集自江苏省扬州、无锡和东台 3 个地区的田间大棚内(表 1)。田间采集的烟粉虱成虫, 在养虫室内用常规棉(泗棉 3 号)饲养 1 代, 取混合日龄成虫进行毒力测定。各地区烟粉虱种群经生物型鉴定均属 Q 生物型。烟粉虱相对敏感种群于 2000 年采集于中国农业科学院蔬菜花卉研究所温室内, 长期未接触药剂饲养。

1.2 供试药剂

80% 敌敌畏 Dichlorvos 乳油(南通江山农药化工股份有限公司); 20% 丁硫克百威 Carbosulfan 乳油(天津绿亨化工有限公司); 10% 氯氰菊酯 Cypermethrin 乳油(江苏扬农化工集团有限公司); 10% 吡虫啉 Imidacloprid 可湿性粉剂(安徽华星化工股份有限公司); 1.8% 阿维菌素 Abamectin 乳油

(河北省邯郸市瑞田农药有限公司)。

表 1 烟粉虱来源和寄主植物

Table 1 Origins and host plants of *B. tabaci* populations

种群 Population	采集地 Location	寄主 Host-plant	采集时间 Date of collection	生物型 Biotype
YZ	扬州 Yangzhou	非洲菊 Gerbera	2009. 7	Q
WX	无锡 Wuxi	黄瓜 Cucumber	2009. 7	Q
DT	东台 Dongtai	辣椒 Capsicum	2009. 9	Q
BJ	北京 Beijing	甘蓝 Cabbage	2000. 8	B

注: 种群字母缩写下表同。The letters of population are same for Table 2.

1.3 生物测定

参照 Feng 等(2010)的成虫浸叶生测法。用打孔器将新鲜、平展甘蓝叶片打成直径 22 cm 小圆片, 在系列浓度药液中浸渍 10 s 并晾干, 将叶片正面向下平铺于已加好琼脂(2 mL 15 g/L)的平底玻璃管中。每管接入 20~25 头成虫, 每个浓度 4 个重复。将指形管倒置于 25℃、L:D=14:10 培养箱中, 48 h 后检查死亡率。采用死亡率机率值分析法计算毒力回归线和致死中浓度(LC₅₀, mg/L)。

1.4 乙酰胆碱酯酶和钠离子通道克隆

1.4.1 烟粉虱基因组 DNA 提取 基因组 DNA 提取方法参照沈媛等(2010)。用解剖针挑取单头烟粉虱, 用双蒸水充分洗涤后, 置于含有 30 μL 提取裂解液(1% SDS, 500 mmol/L Tris-HCl, 20 mmol/L NaCl, 1 mmol/L EDTA, 200 mg/mL 蛋白酶 K)离心管中, 用封口枪头充分研磨成匀浆, 用涡旋仪将匀浆充分混匀后置于 56℃ 恒温水浴中温浴 2~3 h, 再置于 95℃ 水浴中温浴 10 min 以灭活蛋白酶 K, 将离心管短暂离心后置于 -20℃ 冰箱中保存备用。每个田间种群随机选取 2 头个体用于提取基因组 DNA。

1.4.2 PCR 扩增与基因克隆 参照 Tsagkarakou 等(2009)的报道分别合成烟粉虱乙酰胆碱酯酶 *ace1* 基因特异性上游引物 BtAcHE1F1 (5'-TAGGGATCTGCGACTTCCC-3') 和下游引物 BtAcHE1R1 (5'-GTTTCAGCCAGTCCG

TGTACT-3') 以及钠离子通道基因特异性上游引物 Bt-Kdr-F1 (5' - GCCAAATCCTGGCCAACT - 3') 和下游引物 Bt-kdr-RIntr1 (5' - GAGACAAAAGTCCTGTAGC - 3')。25 μ L PCR 反应体系中含: 17.5 μ L ddH₂O; 2.5 μ L 10 $\times$ reaction buffer; 2 μ L 25 mmol/L MgCl₂; 0.5 μ L 10 mmol/L dNTP; 0.5 μ L 10 μ mol/L 上游/下游引物; 1 μ L 10 $\times$ Taq DNA 聚合酶; 1 μ L gDNA 模板。PCR 扩增条件为 94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min; 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 60 ~ 51 $^{\circ}$ C (每个循环降低 1 $^{\circ}$ C) 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s, 循环 10 次; 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 50 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s, 循环 25 次; 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。PCR 产物经基因纯化试剂盒纯化后, 克隆于 pGEM-T vector 上, 送上海生工生物工程技术有限公司用通用引物进行序列测定。

2 结果与分析

2.1 抗性测定

采用浸叶法分别测定了扬州、无锡和东台 3 个 Q 型烟粉虱田间种群对敌敌畏、丁硫克百威、氯

氰菊酯、吡虫啉和阿维菌素 5 种药剂的抗药性(表 1)。从表 1 可以看出, 与 B 型烟粉虱相对敏感种群相比, 在 LC₅₀ 水平上, 扬州、无锡和东台种群对氯氰菊酯的抗性指数分别为 5.28、6.68 和 17.59, 对吡虫啉的抗性指数分别为 5.10、42.50 和 31.60 倍。3 个田间种群对阿维菌素和丁硫克百威较敏感, LC₅₀ 分别为 0.0073 ~ 0.020 mg/L 和 50.18 ~ 116.50 mg/L。此外, 由于本研究所采用的相对敏感品系对敌敌畏较不敏感(LC₅₀ 为 336.28 mg/L), 尽管敌敌畏对 Q 型烟粉虱田间种群 LC₅₀ 高达 571.78 ~ 1 066.99 mg/L, 但与相对敏感种群相比, 抗性倍数较低, 仅为 1.70 ~ 3.17 倍。

2.2 烟粉虱乙酰胆碱酯酶片段克隆

通过 PCR 扩增获得了长度为 287 bp 的 Q 型烟粉虱田间种群乙酰胆碱酯酶基因 *ace1* 片段(图 1)。序列比对发现, 江苏地区不同种群 Q 型烟粉虱 *ace1* 序列完全一致, 并且与 Alon 等(2008)报道的烟粉虱敏感品系 SUD-S 乙酰胆碱酯酶基因(GenBank 登录号 EF675188)相比, 139 和 140 位碱基分别由 T 和 C 突变为 G 和 G。这两个碱基突

表 2 Q 型烟粉虱田间种群对 5 种药剂的抗性

Table 2 Resistance in field populations of Q type *B. tabaci* to five insecticides

种群 Populations	药剂 Insecticides	斜率(±SE) Slope(±SE)	LC ₅₀ (mg/L)	95% 置信限 95% FL	抗性倍数 RF
BJ	敌敌畏 Dichlorvos	1.13(±0.055)	336.28	262.86 ~ 430.23	
	丁硫克百威 Carbosulfan	1.12(±0.10)	441.27	332.36 ~ 585.88	—
	氯氰菊酯 Cypermethrin	1.27(±0.048)	137.21	110.36 ~ 170.59	—
	吡虫啉 Imidacloprid	1.12(±0.08)	8.72	6.40 ~ 11.89	—
	阿维菌素 Abamectin	2.16(±0.14)	0.12	0.10 ~ 0.14	—
YZ	敌敌畏 Dichlorvos	1.18(±0.25)	571.78	411.86 ~ 977.74	1.70
	丁硫克百威 Carbosulfan	1.23(±0.19)	116.50	85.56 ~ 156.34	0.26
	氯氰菊酯 Cypermethrin	0.93(±0.21)	724.66	510.08 ~ 1034.4	5.28
	吡虫啉 Imidacloprid	1.39(±0.33)	44.48	31.69 ~ 70.54	5.10
	阿维菌素 Abamectin	1.65(±0.19)	0.0073	0.0057 ~ 0.0091	0.06
WX	敌敌畏 Dichlorvos	1.23(±0.18)	1066.99	780.9 ~ 1727.58	3.17
	丁硫克百威 Carbosulfan	0.63(±0.14)	54.31	31.20 ~ 153.04	0.12
	氯氰菊酯 Cypermethrin	1.06(±0.14)	916.73	699.64 ~ 1265.08	6.68
	吡虫啉 Imidacloprid	0.94(±0.12)	371.36	246.48 ~ 721.50	42.50
	阿维菌素 Abamectin	3.02(±0.38)	0.015	0.0068 ~ 0.0221	0.13
DT	敌敌畏 Dichlorvos	1.47(±0.27)	574.13	409.14 ~ 755.60	1.71
	丁硫克百威 Carbosulfan	1.01(±0.20)	50.18	24.10 ~ 76.10	0.11
	氯氰菊酯 Cypermethrin	2.11(±0.30)	2413.93	1902.67 ~ 2995.53	17.59
	吡虫啉 Imidacloprid	1.15(±0.29)	275.41	183.59 ~ 406.41	31.60
	阿维菌素 Abamectin	1.31(±0.22)	0.020	0.0126 ~ 0.0276	0.17

变导致相当于电鳐 *Torpedo californica* 乙酰胆碱酯酶序列第 331 位氨基酸由苯丙氨酸变为色氨酸 (F331W) (图 1)。

2.3 烟粉虱钠离子通道片段克隆

通过 PCR 扩增获得了长度为 184 bp 的 Q 型烟粉虱田间种群钠离子通道基因 IIS4-5 片段 (图 2)。与 Morin 等 (2002) 报道的烟粉虱敏感品系 SUD-S 钠离子通道基因 (GenBank 登录号

AJ440727) 序列相比, 扬州、无锡和东台 Q 型烟粉虱田间种群钠离子通道基因第 73 和 74 位碱基分别由 A 和 C 突变为 G 和 T, 并导致相当于家蝇钠离子通道序列第 929 位氨基酸由苏氨酸变为缬氨酸 (T929V)。此外, 在扬州和无锡 Q 型烟粉虱田间种群中, 还发现了钠离子通道基因第 61 位碱基突变 (T 突变为 A), 并导致了第 925 位亮氨酸到异亮氨酸的突变 (L925I)。

```

1   TAGGGATCTGCGACTTCCCGTTCGTGCCGGTCGTGGACGGCTCCTTCCTGGACGAGATGCCGTCCAAGTCCCTGG
    G I C D F P F V P V V D G S F L D E M P S K S L •
76  CGACGAAGAACTTCAAGAAGACCAACATCCTCATGGGGAGCAACACGGAGGAGGGAACTACTGGATCATGTACT
    A T K N F K K T N I L M G S N T E E G N Y W I M Y •
151 ACCTGACGGACCTCTTCCGAAGGAGGAGAACATCCACGTCTCCCGCACCAGTTCATCCAGCGGTGTCCGAGC
    Y L T D L F R K E E N I H V S R D Q F I Q A V S E •
226 TCAACCCGTACAACCTTCATCGTGC GCGGCCATCATCTTCGAGTACACGGACTGGCTGAAC
    L N P Y N F I V R R A I I F E Y T D W L N
  
```

图 1 Q 型烟粉虱田间种群乙酰胆碱酯酶基因片段核苷酸和编码氨基酸序列

Fig.1 Nucleotide and deduced amino acid sequences of the acetylcholinesterase gene fragment amplified from field populations of *B. tabaci* Q-biotype.

加阴影碱基代表抗性相关突变位点。

The resistance-associated mutation is in bold face.

```

1   GCCAAATCCTGGCCAACTTTGAATCTGTTGATTTCAATCATGGGCCGAACAGTTGGGGCCATAGGAAATTTGGTT
    A K S W P T L N L L I S I M G R T V G A I G N L V
76  TTTGTTTGTGTATCATTATTTTCATTTTGTCTGTATGGGAATGCAACTATTCGGAAGAATTATACAggtatg
    F V L C I I I F I F A V M G M Q L F G K N Y T
151 atgttcagtcctccagctacaggacttttgtctc
  
```

图 2 Q 型烟粉虱田间种群钠离子通道基因片段核苷酸和编码氨基酸序列

Fig.2 Nucleotide and deduced amino acid sequences of the sodium channel gene fragment amplified from field populations of *B. tabaci* Q-biotype

加阴影碱基代表抗性相关突变位点

The resistance-associated mutation is in bold face.

3 讨论

抗性监测是抗性治理的基础。目前国内关于烟粉虱抗性监测的报道还不多。何玉仙等 (2007) 采用成虫浸叶生测法测定了我国福建省福州、漳州、龙岩、三明、南平、宁德等地烟粉虱田间种群对多种杀虫剂的抗性, 结果表明, 福建省 6 个烟粉虱

田间种群对氯氟氰菊酯、甲氰菊酯、氯氰菊酯、溴氰菊酯、乙酰甲胺磷、毒死蜱产生了高水平抗性, 对乐果产生了中等水平抗性, 对敌敌畏产生了中等偏低水平的抗性。此外, 除了漳州种群已对吡虫啉、啶虫脒和噻虫嗪产生了中等水平抗性外, 其他地区烟粉虱种群对这 3 种新烟碱类杀虫剂的抗性水平仍然较低, 甚至不明显。马德英等 (2007)

应用浸叶法研究了新疆 B 型烟粉虱对杀虫剂的抗药性,发现被测种群对氯氰菊酯和联苯菊酯的抗性指数分别为 2 100 ~ 6 200 和 1 000 ~ 2 200 倍,对吡虫啉和噻虫嗪抗性指数分别为 4 ~ 86 和 10 ~ 22 倍。最近, Luo 等(2010)对浙江杭州、江苏南京和湖北武汉 3 个 Q 型烟粉虱田间种群以及新疆乌鲁木齐和北京 2 个 B 型烟粉虱田间种群的抗性监测发现, Q 型和 B 型烟粉虱对联苯菊酯、氯氰菊酯、阿维菌素和吡丙醚的抗性水平差异不大,但与对啶虫脒、吡虫啉和噻虫嗪保持较高敏感性的 B 型烟粉虱田间种群相比, Q 型烟粉虱田间种群已对这 3 种新烟碱类杀虫剂产生了 20 ~ 170 倍的抗性,表明新烟碱类杀虫剂的广泛使用可能对混合生物型地区的 Q 型烟粉虱具有潜在的选择作用。本文对江苏扬州、无锡和东台 3 个地区 Q 型烟粉虱田间种群的抗性监测结果表明,与相对敏感种群相比, Q 型烟粉虱田间种群已对氯氰菊酯和吡虫啉产生低至中等水平的抗性, LC_{50} 分别达 724.66 ~ 2 413.93 mg/L 和 44.48 ~ 371.36 mg/L,对敌敌畏也较不敏感, LC_{50} 高达 571.78 ~ 1 066.99 mg/L。但 3 个种群对阿维菌素都表现敏感, LC_{50} 仅为 0.0073 ~ 0.020 mg/L。因此,在江苏地区应限制氯氰菊酯、吡虫啉和敌敌畏的使用,同时将阿维菌素纳入烟粉虱的综合治理和抗药性治理策略中。

点突变而产生的杀虫剂靶标分子的结构变化(靶标抗性)是昆虫对杀虫剂产生抗性的一个重要机制。Alon 等(2008)研究发现,以色列 B 型烟粉虱对有机磷的抗性与乙酰胆碱酯酶基因 *ace1* 位于第 331 位苯丙氨酸到色氨酸突变(F331W)密切相关。随后,应用 PCR-RFLP 技术对 15 个希腊 Q 型烟粉虱田间种群的抗性基因频率检测发现, F331W 突变存在于所有检测的 Q 型烟粉虱个体中(Tsagkarakou *et al.*, 2009)。在烟粉虱对拟除虫菊酯靶标抗性研究方面, Morin 等(2002)对美国亚利桑那州 B 型烟粉虱田间品系的研究发现,经区分剂量处理存活的 76 头雄成虫钠离子通道基因 IIS4-5 细胞内片段接头处都存在位于第 925 位亮氨酸到异亮氨酸的突变(L925I),而在死亡的 88 头个体中,只有 9 头发现 L925I 突变,表明 L925I 突变与 B 型烟粉虱对拟除虫菊酯的抗性密切相关。随后,王利华和吴益东(2004)通过 RT-PCR 克隆了 B 型烟粉虱南京种群的钠离子通道结构域

II S4-6 cDNA 片段,证实了与拟除虫菊酯抗性相关的是 L925I 突变。最近, Roditakis 等(2006)对一个拟除虫菊酯抗性选育 Q 型烟粉虱种群的研究发现,与敏感种群相比,抗性选育种群存在 L925I 和位于第 929 位苏氨酸到缬氨酸(T929V)两个突变。本文对江苏扬州、东台、无锡 3 个地区 Q 型烟粉虱田间种群的乙酰胆碱酯酶基因 *ace1* 和钠离子通道基因的序列分析发现,江苏 Q 型烟粉虱田间种群存在与有机磷抗性相关的乙酰胆碱酯酶 F331W 突变和与拟除虫菊酯抗性相关的钠离子通道 L925I 和 T929V 突变。今后有必要进一步利用分子生物学方法对江苏和其他地区烟粉虱乙酰胆碱酯酶和钠离子通道的突变频率进行检测,从而为烟粉虱的抗性治理提供依据。

参考文献 (References)

- Alon M, Alon F, Nauen R, Morin S, 2008. Organophosphate 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. Mol. Biol.*, 38: 940—949.
- Byrne FJ, Gorman KJ, Cahill M, Denholm I, Devonshire AL, 2000. The role of B-type esterases in conferring resistance in the tobacco whitefly. *Pest. Manag. Sci.*, 10(56): 867—874.
- Chu D, Jiang T, Liu GX, Jiang DF, Tao YL, Fan ZX, Zhou HX, Bi YP, 2007. Biotype status and distribution of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Shandong province of China based on mitochondrial DNA markers. *Environmental Entomology*, 36(5): 1290—1295.
- Chu D, Zhang YJ, Brown JK, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR, 2006. The introduction of the exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* (Gennadius) from the Mediterranean region into China on ornamental crops. *Florida Entomologist*, 89(2): 168—174.
- 褚栋, 张友军, 丛斌, 徐宝云, 吴青君, 2004. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制. *昆虫学报*, 47(3): 400—406.
- 褚栋, 张友军, 丛斌, 徐宝云, 吴青君, 2005. 云南 Q 型烟粉虱种群的鉴定. *昆虫知识*, 42(1): 54—56.
- Elbert A, Nauen R, 2000. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides in southern Spain with special reference to neonicotinoids. *Pest. Manag. Sci.*, 56: 60—64.
- Feng Y, Wu Q, Wang S, Chang X, Xie W, Xu B, Zhang Y, 2010. Cross-resistance study and biochemical mechanisms of thiamethoxam resistance in B-biotype *Bemisia tabaci*

- (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest. Manag. Sci.*, 66: 313—318.
- 何玉仙,翁启勇,黄建,梁智生,林桂君,吴咚咚. 2007. 烟粉虱田间种群的抗药性. *应用生态学报*, 18: 1578—1582.
- 何玉仙,黄建. 2005. 烟粉虱抗药性的研究进展. *华东昆虫学报*, 14(4): 336—342.
- Jones DR. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Eur. Plant Pathol.*, 109(3): 195—219.
- Kady HE, Devine GJ. 2003. Insecticide resistance in Egyptian populations of the cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest. Manag. Sci.*, 59: 865—871.
- Karunker I, Benting J, Lueke B, Ponge T, Nauen R, Roditakis E, Vontas J, Gorman K, Denholm I, Morin S. 2008. Over-expression of cytochrome P450 CYP6CM1 is associated with high resistance to imidacloprid in the B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 38: 634—644.
- Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm I, Gorman K. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection*, 29: 429—434.
- 罗晨,姚远,王戎疆,王戎疆,闫凤鸣,胡敦孝,张芝利. 2002. 利用 mtDNA COI 基因序列鉴定我国烟粉虱的生物型. *昆虫学报*, 45(6): 759—763.
- 马德英, Jan D, Kevin G, 罗万春. 2007. 新疆 B 型烟粉虱对不同杀虫剂的抗性分析. *植物保护学报*, 34: 311—315.
- Morin S, Williamson MS, Goodson J, Tabashnik BE, Dennehy TJ. 2002. Mutations in the *Bemisia tabaci* para sodium channel gene associated with resistance to a pyrethroid plus organophosphate mixture. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 32: 1781—1791.
- 潘慧鹏,戈大庆,王少丽,吴青君,徐宝云,谢文,张友军. 2010. 在北京和河北局部地区 Q 型烟粉虱取代了 B 型烟粉虱. *植物保护*, 36(6): 40—44.
- Roditakis E, Roditakis N, Tsagkarakou A. 2005. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) populations from Crete. *Pest. Manag. Sci.*, 61: 577—582.
- 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. *Pest. Manag. Sci.*, 62: 161—166.
- 沈媛,杜予洲,金桂华,邱宝利,郑福山,任顺祥. 2010. 基于 16S rDNA 基因的中国部分地区非 B 型烟粉虱系统发育关系分析. *昆虫学报*, 53(1): 82—90.
- Tsagkarakou A, Nikou D, Roditakis E, Sharvit M, Morin S, Vontas J. 2009. Molecular diagnostics for detecting pyrethroid and organophosphate resistance mutations in the Q biotype of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 94: 49—54.
- 王利华,吴益东. 2004. 与拟除虫菊酯抗性相关的烟粉虱钠通道基因突变及其检测. *昆虫学报*, 47(4): 449—453.
- Wang LH, Wu YD. 2007. Cross-resistance and biochemical mechanisms of abamectin resistance in the B-type *Bemisia tabaci*. *Appl. Entomol.*, 131: 98—103.
- Wang ZY, Yao MD, Wu YD. 2009. Cross-resistance, inheritance and biochemical mechanisms of imidacloprid resistance in B-biotype *Bemisia tabaci*. *Pest. Manag. Sci.*, 65: 1189—1194.
- 徐婧,王文丽,刘树生. 2006. Q 型烟粉虱在浙江局部地区大量发生危害. *植物保护*, 32(4): 121.