

害虫对新烟碱类杀虫剂抗药性研究进展

韩晓莉¹, 潘文亮², 高占林², 张付强³, 党志红², 李耀发², 王吉强¹, 赤国彤¹

(1. 河北农业大学 植物保护学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所, 河北 保定 071000;

3. 河北威远生物化工股份有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要: 新烟碱类杀虫剂是一类新开发的杀虫剂, 研究表明, 现已有多种害虫对吡虫啉、啶虫脒及其他新烟碱类杀虫剂产生了抗药性。概述了害虫对新烟碱类杀虫剂抗药性现状及发展趋势。

关键词: 抗药性; 交互抗性; 抗性机理

中图分类号: S433.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)增刊-0028-05

The Study Evolution of Pest Resistance to Chloronicotinyl Insecticides

HAN Xiao-li¹, PAN Wen-liang², GAO Zhan-lin², Zhang Fu-qiang³,

DANG Zhi-hong², LI Yao-fa², WANG Ji-qiang¹, CHI Guo-tong¹

(1. The Agriculture University of Hebei, Baoding 071000, China;

2. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences,

Baoding 071000, China; 3. Hebei Veyong Bio-chemical Co., Ltd, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Chloronicotinyl insecticides is a group of new developed insecticides. The survey results indicated that several insect have evolved the resistance to imidacloprid and acetamiprid and so on now. In this paper, the current situation and the latest trends on the study of pest resistance to chloronicotinyl insecticides are reviewed.

Key words: Resistance; Cross resistance; Resistance mechanism

自从1978年Soloway等报道了具有杀虫活性的硝基亚甲基杂环化合物以来, 人们通过对此类化合物官能团的变换, 烟碱类杀虫剂研究开发的突破性进展是拜耳公司吡虫啉(Imidacloprid)的发现, 其具有独特的作用机制, 主要是通过选择性控制昆虫神经系统烟碱型乙酰胆碱受体, 阻断昆虫中枢神经系统的正常传导。高效、广谱、环境相容性好, 这标志着新一代化学杀虫剂的问世。

新烟碱类药剂以其独特的作用机制, 高效广谱的内吸、触杀和胃毒作用在生产上得到广泛应用, 自吡虫啉成功开发以来, 在短短的几年时间里已成为一个重要的杀虫剂品种系列, 可有效防治同翅目、鞘翅目、双翅目和鳞翅目等害虫, 目前已商品化的有吡虫啉(Imidacloprid)、啶虫脒(Acetamiprid)、噻虫嗪(Thiamethoxam)、氯噻啉(Imidaclothiz)等。然而近年来随着吡虫啉的大量使用, 吡虫啉的抗药性问题已

引起世界各地研究者的关注, 随着吡虫啉应用范围的不断扩大和使用频率的不断增加, 势必会因为高选择压而使害虫产生抗药性问题^[1]。吡虫啉作为新烟碱类杀虫剂的代表与其他新烟碱类药剂具有相同的作用机制, 因此, 其他新烟碱类杀虫剂存在很大的抗性风险。本文概述了近年来国内外主要害虫对新烟碱类杀虫剂抗药性研究现状及发展趋势。

1 害虫对新烟碱类药剂的抗药性发展现状

Cahill等^[2]报道, 西班牙Almeria地区1993年开始使用吡虫啉防治温室和大田蔬菜上的烟粉虱, 由于施药次数较多, 应用不到3年因抗药性问题导致防效显著降低, 据1996年监测, 该地区的烟粉虱已产生了20~25倍的抗性。Schaub L等^[3]发现, 1997-2000年吡虫啉对采集于果园的车前圆尾蚜的药效降低, 表明有抗性发展的可能。美国自1995年开

收稿日期: 2007-03-10

作者简介: 韩晓莉(1980-), 女, 河北迁安人, 硕士, 主要从事害虫抗药性研究

通讯作者: 潘文亮(1958-), 男, 河北霸州人, 博士, 研究员, 主要从事农业害虫综合防治研究工作。

始应用吡虫啉防治马铃薯甲虫(*Leptinotarsa decemlineata* (Say)), 1997 年在纽约州长岛地区局部地块出现防治失效问题, 将其采回室内测定, 长岛种群成虫和 2 龄幼虫对吡虫啉的抗性指数已分别达到 110.8 和 13.2 倍^[4]。最近的报道表明, 在津巴布韦、美国和欧洲的南部和北部地区都监测到了抗吡虫啉桃蚜种群, 抗性倍数大于 18 倍^[5]。在国内, 王开运等^[6]已在山东聊城监测到对吡虫啉抗性为 9.6 倍的棉蚜种群; 庄永林等^[7]1996–1999 年以稻茎浸渍法监测了广西南宁、桂林、安徽安庆、江苏江浦、仪征及南通等地大田褐飞虱对吡虫啉的敏感性时空变化。结果表明, 各地大田褐飞虱(*Brown planthopper* 简称 BPH, *Nilaparvata lugens* (Stal)) 种群对吡虫啉抗性可达 1.2 ~ 6.3 倍。

室内抗性筛选是害虫抗药性机理研究的基础, 潘文亮等^[8]1999 年 8 月起用吡虫啉对田间采集的棉蚜种群进行了汰选, 结果发现至 2003 年 3 月, 其敏感性降低了 4.5 倍。Wang 等^[9]在室内连续筛选棉蚜 13 代, 获得了抗性倍数为 8.1 倍抗吡虫啉棉蚜种群。顾春波等^[10]利用毛细管点滴法测定了山东省主要烟区烟(桃)蚜对吡虫啉的抗性, 结果表明, 昌乐种群对吡虫啉的抗性为敏感种群的 2.17 倍。刘泽文等^[11]对 2000 年 7 月从南京市江浦县采集的田间褐飞虱种群用吡虫啉连续筛选 21 代, 抗性倍数为 72.83 倍。戴德江^[12]从 2001 年 6 月至 2002 年 12 月, 对南宁褐飞虱种群在室内连续用吡虫啉筛选 17 代抗性倍数达 17.4 倍。据 2005 年 9 月 28 日, 全国农技推广服务中心农技函[2005]270 号通报: 经南京农业大学沈晋良教授等检测, 江苏江浦、广西南宁、广西桂林、湖南常德等地, 稻褐飞虱对吡虫啉抗药性倍数在 70~475 倍, 达高抗水平。吡虫啉在我国使用已有 10 年以上历史, 2005 年不少地方反映吡虫啉治褐飞虱的效果降低, 持效期缩短。这是否表明全国其他地区褐飞虱也有了较高的抗性, 亟待开展检测。

Mota Sanchez 等^[13]报道在不到 3 年的时间里, 长岛地区的马铃薯甲虫对吡虫啉产生了很强的抗性, 1998 年, 吡虫啉的抗性倍数为 27~155 倍。Olson 等^[14]调查 1995–1998 年从长岛地区采集的马铃薯甲虫, 对吡虫啉的忍耐力最强的 LC_{50} 比最敏感的高 29 倍。

Devine 等^[15]比较了吡虫啉对采自 7 个国家的桃蚜和烟蚜的毒力, 发现桃蚜对吡虫啉产生了低水平的抗性, 其中对桃蚜毒力最多的相差 2.0 倍, 对烟蚜最多相差 5.1 倍。Nauen 等^[16]测定了一个采自日

本的喂食烟草的红色型桃蚜种群对一些杀虫剂的抗性水平, 与敏感品系相比, 经摄食和触杀毒力测定发现, 桃蚜种群对吡虫啉的抗性倍数分别为 4.1 和 7.2 倍, 经口摄食试验表明, 该种群对烟碱有 9 倍的抗性。Choi 等^[17]比较了吡虫啉汰选的抗性种群和室内敏感种群的敏感性差异, 抗性倍数高达 1 600 多倍。

Elbert A 等^[18]1999 年从 Almeria 地区收集的 Q 型烟粉虱对噻虫嗪、啉虫脒和吡虫啉的敏感性下降了 100 倍以上, 以后的 2 年中, 尽管该种群被保留在温室中不接触药剂, 其敏感性仍不能恢复。Nauen 等^[19]用浸渍法和浸叶法测定了来自西班牙 Almeria 地区的 Q 型烟粉虱对吡虫啉的内吸和触杀毒力, 与敏感品系比较, 其抗性倍数分别是 116 和 14 倍。Gorman K 等^[20]测定西班牙 Almeria 地区采集于番茄上的 3 种 Q 型烟粉虱对 3 种新烟碱类杀虫剂(吡虫啉、噻虫嗪、啉虫脒)的抗性时发现, 这 3 种 Q 型烟粉虱与 1994 年采集的 1 种和 2000 年采集的 2 种相比对吡虫啉、噻虫嗪、啉虫脒都表现出很强的抗性。Kady H El 等^[21]报道, 埃及采集于生长季末的一种烟粉虱与采集于生长季初期棉花和蔬菜上的烟粉虱相比对吡虫啉产生了轻微的抗性。在克利特岛栽种花卉的温室内的一种烟粉虱对吡虫啉有 730 倍的抗性^[22]。2001–2003 年在以色列中部的阿亚龙峡谷和卡梅尔海岸的棉花田中, 烟粉虱对噻虫嗪的抗性增加 100 多倍^[23]。2002–2003 年, 在以色列棉花田的烟粉虱对啉虫脒的抗性大约增加了 5 倍^[23]。Ninsin K D 等^[13]研究, 在室内实验室有 9.5 倍的小菜蛾抗性种群, 经 4 次筛选(5 代), 筛选出 1 个对啉虫脒抗性为 110 倍的种群。

美国南部 20 世纪 90 年代中期开始应用吡虫啉防治银叶粉虱, Prabhaker 等^[24]对采自加利福尼亚甜瓜田的银叶粉虱种群, 在温室用吡虫啉连续筛选 32 代, 获得了抗性倍数为 82 倍的抗性种群。用溶液培养生测法对帝国山谷的银叶粉虱种群作的敏感性监测结果表明, 吡虫啉应用 2 年后, 部分地块田间种群对吡虫啉的抗性倍数最高为 15 倍。据在美国测定, 苜蓿蓟马(*Frankliniella occidentalis*)的一个种群对吡虫啉的抗性指数为 14 倍^[25]。

因此, 新烟碱类杀虫剂目前存在很大抗性风险, 人们应引起高度重视。

2 和其他类型药剂的交互抗性关系

目前国内有关新烟碱类药剂交互抗性的报道很少。陈亮等^[26]采用浸渍法, 在室内用吡虫啉对桃蚜

敏感种群进行抗性选育, 经过 15 代的连续汰选, 获得抗性指数为 14.34 倍的抗吡虫啉桃蚜品系, 该品系对 9 种常用杀虫剂的交互抗性测定结果表明, 该种群对拟除虫菊酯类如高效氯氟氰菊酯(抗性指数 12.76 倍)和溴氰菊酯(10.24 倍), 有机磷类如氧乐果(7.95 倍)、辛硫磷(5.44 倍)和甲胺磷(5.32 倍)以及吡虫啉·高效氯氟氰菊酯混剂(8.90 倍)均产生了不同程度的交互抗性, 而对氨基甲酸酯类如灭多威(3.15 倍)、有机氯类如硫丹(1.64 倍)以及阿维菌素·辛硫磷混剂(2.31 倍)等无明显的交互抗性。

艾颖等^[27]研究表明以棉花和黄瓜为寄主的棉蚜抗吡虫啉品系对氰戊菊酯产生高交互抗性, 交互抗性值不同, 而以棉花为寄主的吡虫啉抗性品系对灭多威、硫丹、氧乐果产生低交互抗性(RR 分别为 613, 310, 815)以黄瓜为寄主的吡虫啉抗性品系对灭多威、氧乐果产生低的交互抗性(RR= 710 和 313), 但却对硫丹没有产生任何交互抗性。

国外关于新烟碱类杀虫剂交互抗性的报道主要涉及到马铃薯甲虫和粉虱等, 此外也有关于德国蜚蠊和家蝇的报道。据 1996 年监测, 西班牙 Almeria 地区抗有机磷、拟除虫菊酯、和硫丹的烟粉虱对吡虫啉无交互抗性, 这与吡虫啉有新的作用靶标有关。纽约长岛地区 3 个抗吡虫啉的马铃薯甲虫种群对噻虫嗪(Thiamethoxam)有低交互抗性(抗性倍数 1.7~3.1 倍), 而对沙蚕毒素类(Nereistoxin)杀虫剂杀虫磺(Tobensultap)无交互抗性^[13]。Olson 等^[14]4 年多的相关试验表明, 马铃薯甲虫的吡虫啉抗性品系对高效氰戊菊酯(Esfenvalerate)和谷硫磷(Azinphosmethyl, 有机磷类)已产生交互抗性。田间监测表明, 一个采自日本的高抗有机磷(砒吸磷 Oxydemeton-methyl)和氨基甲酸酯(抗蚜威 Pirimicarb)类杀虫剂的桃蚜种群对吡虫啉有 4~7 倍的交互抗性^[16]。

西班牙 Almeria 地区的抗吡虫啉烟粉虱除对啉虫脒(Acetamiprid)、噻虫嗪(Thiamethoxam)等新烟碱类杀虫剂有交互抗性外, 还对氟氯氰菊酯(Cyfluthrin)、硫丹(Endosulfan)、久效磷(Monocrotophos)、甲胺磷(Methamidophos)和噻嗪酮(Buprofezin)等常用杀虫剂有交互抗性, 吡蚜酮(Pymetrozine)在该地区未曾使用过, 抗吡虫啉烟粉虱对吡蚜酮也存在交互抗性, 但对昆虫生长调节剂吡丙醚(Pyriproxyfen)无交互抗性^[18]。Prabhaker 等^[24]研究表明, 高抗吡虫啉的银叶粉虱(抗性倍数高达 82 倍)对毒死稗(Chlorpyrifos)、硫丹(Endosulfan)和灭多威(Methomyl)无交互抗性(抗性倍数 0.4~1.5 倍), 对联苯菊酯(Bifenthrin)有 7 倍的交互抗性。20

世纪 90 年代初, 采自日本各地的 9 个灰飞虱(*Laodelphax striatellus*)种群对吡虫啉极其敏感, 但室内用有机磷和氨基甲酸酯药剂连续筛选其中一个种群, 发现对吡虫啉也产生了约为 18 倍的抗性, 采自田间的抗有机磷和氨基甲酸酯灰飞虱种群同样对吡虫啉产生抗性, 抗性倍数是 2~7 倍^[28]。Rauch N 等^[29]报道, 在西班牙的 Q 型烟粉虱和采自意大利和法国的个别种群中发现了新烟碱类杀虫剂的交互抗性, 并且第一次发现了以色列的一种 B 型烟粉虱具有很高的新烟碱类药剂的交互抗性。阿根廷白粉虱对氯化烟碱类杀虫剂的敏感性实验室生测结果表明, 在吡虫啉、啉虫脒、噻虫嗪之间存在低级的交互抗性^[30]。在亚利桑那州的多点系统监测结果表明^[31], 银叶粉虱对吡虫啉的敏感性在不同地区之间差异显著, 其平均抗性个体频率由 1995 年的 1% 上升为 1996 年 3% 和 1997 年的 6%; 抗吡虫啉的粉虱可能与杀虫剂啉虫脒(Acetamiprid)间存在交互抗性。系统的测定 1994, 1996, 1998 年采自西班牙的田间烟粉虱种群表明, 烟粉虱对吡虫啉的抗性增加了, 用相同的生测方法研究其他的新烟碱类杀虫剂发现, 在啉虫脒和噻虫嗪之间有很高的交互抗性, 1998 年的田间试验进一步确认了啉虫脒和噻虫嗪之间的交互抗性^[18]。Ishaaya I 等^[32]报道在烟粉虱中, 昆虫生长调节剂百利普芬(Pyriproxyfen)与啉虫脒和吡虫啉无交互抗性, 与噻虫嗪有 5~13 倍的交互抗性; 在新烟碱类药剂之间, 对噻虫嗪有大约 100 倍抗性的烟粉虱对啉虫脒和吡虫啉无交互抗性, 而另一个对噻虫嗪抗性高达 500 倍的种群对啉虫脒、吡虫啉有 4~6 倍的抗性; 另一个试验表明, 对噻虫嗪有大约 100 倍抗性的烟粉虱对百利普芬(Pyriproxyfen)无交互抗性。采自以色列中部的阿亚龙峡谷和卡梅尔海岸的棉花田中的烟粉虱, 用噻虫嗪选育 12 代后对啉虫脒几乎无交互抗性, 然而用啉虫脒选育的种群对噻虫嗪表现大于 500 倍的高交互抗性^[23]。

Wen Z M 等研究^[33]抗拟除虫菊酯的德国蜚蠊(*Blattella germanica*)对吡虫啉有 4 倍的交互抗性, 抗阿维菌素的家蝇(*Musca domestica*)对吡虫啉有 4.2 倍的交互抗性。

由此可见, 害虫对新烟碱类杀虫剂产生抗性后, 很可能对同类型或其他类型的杀虫剂产生交互抗性, 从而使药效逐步降低, 害虫更难防治。

3 抗性机理

抗性机理的研究对抗性的治理尤为重要, 不同

种类的害虫、不同类型的杀虫剂有不同的抗性机理, 害虫对新烟碱类药剂的抗性机理目前主要表现在: 酯酶和 P450 单加氧酶解毒代谢增强。也可能与表皮穿透力降低有关。

目前的研究认为, 害虫对新烟碱类药剂的抗性, 不存在靶标敏感性降低的机理。Nauen 等^[16] 研究证明, 取食烟草的桃蚜和烟蚜对吡虫啉的敏感性与未取食烟草的桃蚜敏感品系间相差 7~10 倍; 分别用增效剂(PBO) 和脱叶磷(DEF) 进行测定, 两者对取食烟草的蚜虫均无增效作用, 说明多功能氧化酶和酯酶的解毒代谢与其敏感性降低无关。此外, 吡虫啉对所有蚜虫品系中 nAChR 的亲合力都很高, 无显著差异, 表明也不存在作用靶标敏感性降低的机理。Rauch 和 Nauen^[29] 用³H-吡虫啉研究了烟粉虱抗性品系和敏感品系体内吡虫啉与其靶标部位 nAChR 的配位结合能力, 发现它们之间没有明显差异, 表明不存在作用靶标敏感性降低的机理。Nauen^[34] 等对桃蚜和烟蚜抗吡虫啉品系和敏感品系作了类似的试验, 表明也不存在作用靶标敏感性降低的机理。

酯酶和 P450 单加氧酶解毒代谢增强是害虫对新烟碱类杀虫剂产生抗性的重要机理。烟芽夜蛾 (*Heliothis virescens*) 被吡虫啉汰选 30 代后, 就产生了 P₄₅₀ 多功能氧化酶系羟基化作用, 研究者认为吡虫啉类似物可被 P₄₅₀ 抑制, 说明它经 P₄₅₀ 酶系的氧化作用而减低了毒性^[35]。Choi 等^[17] 研究了桃蚜对吡虫啉的抗性机理, 利用¹⁴C-吡虫啉研究了抗性和敏感品系体内的残留动态, 在蚜虫体内的残留量随着时间的流逝逐渐增加, 并且在敏感种群中的含量略多于抗性种群; 吡虫啉的排泄量抗性种群大于敏感种群; 在抗性种群中, Ache 的活性比敏感种群高 1.4 倍, 但吡虫啉对 2 个品系都没有抑制作用; PBO 和异稻瘟净 (IBP) 增效试验表明, 吡虫啉与 PBO 以 1:1 和 1:5 的比例混合处理抗性个体, 增效比值分别是 69.4 和 250, 吡虫啉和 IBP 按 1:1 和 1:5 的比例混合处理抗性个体, 增效比值分别是 227 和 80.6, 以 α -NA 和 β -NA 为底物测定了酯酶活性, 抗性品系分别是敏感品系的 1.4 和 2.4 倍, 以上研究表明, 在桃蚜中与吡虫啉抗性有关的酶是 P₄₅₀ 单加氧化酶和酯酶。潘文亮等^[36] 证明羧酸酯酶和谷胱甘肽-S-转移酶活力增强在棉蚜对吡虫啉的抗性中起重要作用。Liu 等^[37] 报道了 PBO 对抗吡虫啉褐飞虱的增效作用, 表明 P₄₅₀ 单加氧化酶的解毒作用是褐飞虱产生抗性的重要原因, 而且靶标抗性也可能出现在这些种类上, 并且认为酯酶和谷胱甘肽-S-转移酶在吡虫啉的解毒作用中几乎不起作用。Wen Z M^[33] 研究证实单加氧

酶是家蝇抗齐螨素品系与吡虫啉交互抗性的机制, 不是抗拟除虫菊酯品系与吡虫啉的抗性机制。美国纽约州长岛地区马铃薯甲虫 (*Leptinotarsa decemlineata*) 吡虫啉抗性种群中成虫的抗性为常染色体多基因控制的不完全隐性遗传, 增效剂 PBO 和 DEF 预处理抗性种群成虫对吡虫啉有显著增效作用, 增效指数分别为 6.0 和 2.6 倍, 而在敏感种群中则无增效作用, 证明多功能氧化酶和酯酶的解毒代谢增强是重要抗性机理, 但因两种增效剂不能完全克服抗性, 说明还存在其他机理^[4]。

害虫对新烟碱类杀虫剂的抗性也可能与表皮穿透作用降低有关, 洪波等^[38] 研究增效剂与杀虫剂混用对抗性枸杞蚜虫增效作用时发现月桂氮酮对吡虫啉有增效作用, CTC 为 116.9, 而其他增效剂对吡虫啉则无增效作用, 表明枸杞蚜虫对吡虫啉抗性可能与表皮穿透作用降低有关。

Prabhaker 等^[24] 用吡虫啉筛选银叶粉虱抗性种群时发现, 随着筛选的进行, 吡虫啉抗性缓慢而稳定增加, 说明有多个基因参与了抗性的表达。

4 害虫对多种新烟碱类杀虫剂抗性的发展趋势及治理对策

国内外多种害虫对多种新烟碱类杀虫剂的室内汰选和田间监测结果表明, 害虫对新烟碱类药剂的抗性风险较大, 我们迫切需要采取行之有效的措施来延缓抗药性的产生。

参考文献:

- [1] 张彦英, 张弘. 吡虫啉抗性产生的可能与治理[J]. 农药, 1999, 38(4): 22-23.
- [2] Cahill M, Goman K, Day S, et al. Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Bull Entomol Res, 1996, 86: 343-349.
- [3] Schaub L, Alame M, Grandchamp K, et al. Laboratory evaluation of nitroguanidine insecticides against rosy apple aphids [J]. Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture, 2001, 33(2): 109-111.
- [4] 赵建周, Bishop A B, Edward J G. 马铃薯甲虫对吡虫啉抗性的测定、遗传方式和机理研究[M] // 植物保护 21 世纪展望, 北京: 中国科学技术出版社, 1998: 715-718.
- [5] Foster S, Denholm I, Thompson R. Variation in response to neonicotinoid insecticides in peach-potato aphids *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) [J]. Pest Manag Sci, 2003, 59: 166-173.
- [6] 王开运, 姜兴印, 仪美琴, 等. 山东省主要菜区瓜(棉)蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 抗药性及机理研究[J]. 农药学报, 2000, 2(3): 19-24.
- [7] 庄永林. 褐飞虱对噻嗪酮及吡虫啉的抗药性研究[D]. 南京: 南京农业大学博士论文, 2000.

- [8] 潘文亮, 党志红, 高占林, 等. 几种蚜虫对吡虫啉抗药性研究[J]. 农药学学报, 2002, 2(4): 85– 87.
- [9] Wang K Y, Liu T X, Yu C H, *et al.* Resistance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) to fenvalerate and imidacloprid and activities of detoxification enzymes on cotton and cucumber[J]. J Econ Entomol, 2002, 95: 407– 413.
- [10] 顾春波, 王开运. 山东省主要烟区烟(棉)蚜[*Myzus persicae* (suber)] 抗药性研究[J]. 中国烟草学报, 2005, 4: 21– 23, 32.
- [11] 刘泽文, 韩召军, 张玲春, 等. 抗吡虫啉褐飞虱品系中扑虱灵、仲丁威对吡虫啉的增效作用[J]. 农药, 2003, 42(8): 23– 25.
- [12] 戴德江. 褐飞虱对吡虫啉和噻嗪酮抗性风险、早期抗性监测及治理研究[D]. 南京: 南京农业大学硕士论文, 2003.
- [13] Mota Sanchez, David. Resistance and metabolism of imidacloprid in Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. Dissertation Abstracts International, 2003, 64– 05B: 2004.
- [14] Olson, Eric R. Resistance to imidacloprid in the Colorado potato beetle [M]. 2000: 1– 160.
- [15] Devine G J, Harling, Z K, Scar, A W, *et al.* Lethal and sublethal effects of imidacloprid on nicotine tolerant *Myzus nicotianae* and *Myzus persicae* [J]. Pestic Sci, 1996, 48: 57– 62.
- [16] Nauen R, Strobel J, Tietjen K, *et al.* Aphicidal activity of imidacloprid against a tobacco feeding strain of *Myzus persicae* from Japan closely related to *Myzus persicae* and highly resistant to carbamates and organophosph[J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86: 165– 171.
- [17] Choi B R, Lee S W, Yoo J K. Resistance mechanisms of green peach aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) to imidacloprid Kor[J]. I Appl Entomol, 2001, 40: 265– 271.
- [18] Elbert A, Nauen R. Resistance of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to insecticides in southern Spain with special reference to neonicotinoids [J]. Pest Manag Sci, 2000, 56(1): 60– 64.
- [19] Nauen R, Stumpf N, Elbert A. Toxicological and mechanistic studies on neonicotinoid cross resistance in Q-type *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Pest Manag Sci, 2002, 58: 868– 874.
- [20] Gorman K, Wren J, Devine G, *et al.* Characterisation of neonicotinoid resistance in *Bemisia tabaci* from Spain [C] // The BCPC international congress of the crop science & technology, 2003: 783– 788.
- [21] Kady H El, Denholm I, G Devine J. Insecticide resistance in Egyptian strains of *Bemisia tabaci* [C] // The BCPC conference pests & diseases, 2002, 2: 787– 792.
- [22] Emmanouil Roditakis, Nikos E Roditakis, Anastasia Tsagarakou. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) populations from Crete [J]. Pest Management Science, 2005, 61(6): 577– 582.
- [23] Horowitz A R, Kontsedalov S, Ishaaya I. Dynamics of resistance to the neonicotinoids acetamiprid and thiamethoxam in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(6): 2051– 2056.
- [24] Prabhaker N, Toscano N C, Castle S J, *et al.* Selection for imidacloprid resistance in silver leaf whiteflies from the imperial valley and development of a hydroponic bioassay for resistance monitoring [J]. Pestic Sci, 1997, 51(4): 419– 428.
- [25] Zhao G Y. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips [J]. J Econ Entomol, 1995, 88(5): 1164– 1170.
- [26] 陈亮, 吴兴富, 邓建华, 等. 抗吡虫啉桃蚜种群的选育及其交互抗性研究[J]. 农药学学报, 2005, 7(3): 289– 292.
- [27] 艾颖, 邱星辉, 何凤琴, 等. 棉蚜抗药性机理研究进展[J]. 昆虫知识, 2003, 40(5): 385– 391.
- [28] Sone S, Hattori Y, Tsuboi S, *et al.* Difference in susceptibility to imidacloprid of the populations of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen from various localities in Japan [J]. Pestic Sci, 1995, 20(4): 541– 543.
- [29] Rauch N, Nauen R. Identification of biochemical markers linked to neonicotinoid cross-resistance in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Archives of Biochemistry and Physiology, 2003, 54(4): 165– 176.
- [30] Li Yongsheng, Timothy J D, Li Xiaohua. Susceptibility of Arizona whiteflies to cholinergic insecticides and IGRs: new developments in the 1999 season [J] // 2000 Proceedings Beltwide cotton conferences January 4– 8, San Antonio, TX, 2000, 2: 1325– 1300.
- [31] Williams L. Can resistance to cholinergic insecticides be averted in Arizona field crops [C] // Proceedings of Beltwide Cotton Conferences, National Cotton Council of America. 1998(in press).
- [32] Ishaaya I, Kontsedalov S, Horowitz A R. Biorational insecticide: mechanism and cross-resistance [J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2005, 58(4): 192– 199.
- [33] Wen Z M, Scott J G. Cross-resistance to imidacloprid in strains of German cockroach and house fly [J]. Pestic Sci, 1997, 49(4): 367– 371.
- [34] Nauen R, Hungenberg H, Tollo B, *et al.* Antifeedant effect, biological efficacy and high affinity binding of imidacloprid to acetylcholine receptors in *Myzus nicotianae* and *Myzus persicae* [J]. Pestic Sci, 1998, 53(2): 133– 140.
- [35] 章玉苹, 黄炳球. 吡虫啉的研究现状与进展 [J]. 世界农药, 2000, 22(6): 23– 28.
- [36] 潘文亮, 党志红, 高占林. 棉蚜抗吡虫啉品系和敏感品系主要解毒酶活性比较 [J]. 昆虫学报, 2003, 46(6): 793– 796.
- [37] Liu Z W, Han Z J, Wang Y G, *et al.* Selection for imidacloprid resistance in *Nilaparvata lugens*: cross-resistance patterns and possible mechanisms [J]. Pest Manag Sci, 2003, 59(12): 1355– 1359.
- [38] 洪波, 王坚, 张兴. 增效剂与杀虫剂混用对抗性枸杞蚜虫增效作用的研究 [J]. 宁夏农学院学报, 2001, 22(3): 13– 17.