

西花蓟马的抗药性及其治理策略^{*}

龚佑辉 吴青君^{**} 张友军 徐宝云

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

Insecticide resistance of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* and its management strategies.

GONG You-Hui, WU Qing-Jun^{**}, ZHANG You-Jun, XU Bao-Yun (*Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract The western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), is a serious global pest of a wide range of host plants, including open-field ornamental crops, fruit, garden, and agricultural crops. It has developed resistance to almost every kind of insecticide, including organophosphates, carbamates, pyrethroids and spinosad. This paper reviews the resistance of western flower thrips to every class of insecticide and the mechanisms underlying this resistance. An insecticide resistance management (IRM) strategy is proposed with the key objective of decreasing reliance on insecticides to control western flower thrips. This involves using insecticides scientifically, in combination with other control methods, including cultural, physical, genetic and biological control approaches.

Key words *Frankliniella occidentalis*, resistance, resistance mechanism, resistance management

摘要 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 是世界性的园艺作物上的重要害虫, 几乎对每种类型的杀虫剂均产生了抗药性, 包括有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯类杀虫剂和多杀菌素等。本文对国外西花蓟马的抗药性发展现状和抗性机制进行了总结, 并提出了抗性治理策略, 即科学合理使用杀虫剂, 结合栽培防治、物理防治、生物防治和寄主植物抗性等方式降低杀虫剂对西花蓟马的选择压, 从而达到抗性治理的目的。

关键词 西花蓟马, 抗药性, 抗性机制, 抗性治理

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 属于缨翅目 Thysanoptera, 蓟马科 Thripidae, 最早于 1895 年在美国西部地区发现, 20 世纪 80 年代开始迅速扩散至全球各大洲, 目前已在 69 个国家和地区有报道, 成为蔬菜、水果、观赏植物上的重要害虫之一^[1]。我国于 2003 年首次报道发生^[2]。西花蓟马既能直接取食对作物造成危害, 导致作物的产量和品质下降, 又能传播番茄斑萎病毒属 (*Tospovirus*) 的病毒病, 造成的为害远远大于西花蓟马本身取食所造成的为害。目前对于西花蓟马的防治主要采取药剂防治, 由于用药频繁, 加上西花蓟马世代短、繁殖快, 能孤雌生雄, 单倍体雄虫完全暴露于杀虫剂的选择之下, 所以国外许多地区的田间种群都对各种杀虫剂产生

了不同程度的抗药性, 使生产防治面临巨大的挑战。本文重点总结了西花蓟马的抗药性现状、抗药性机制以及抗性治理策略, 旨在为该害虫的抗性治理和综合防治提供借鉴。

1 西花蓟马的抗药性现状

20 世纪 80 年代, 有机磷和拟除虫菊酯类杀虫剂广泛用于西花蓟马的防治, 西花蓟马的抗性随产生, 并逐渐成为研究的热点^[3]。先后有研究者报道了西花蓟马对有机磷、有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯类杀虫剂

^{*} 资助项目: 973 项目 (2009CB119004)、北京市自然科学基金 (6092018)、农业行业科技专项 (200803025)。

^{**} 通讯作者, E-mail: wuqj@mail.caas.net.cn

收稿日期: 2010-01-13, 修回日期: 2010-04-08

产生了不同程度的抗药性^[4-9]。随着一些新型环保类型的杀虫剂在生产中的大量使用,西花蓟马也不可避免地对它们产生了抗药性。Immaraju 等^[4]发现美国加州种群对阿维菌素产生了 18 ~ 798 倍的抗性。Bielza 等^[10]报道了 2003 年从西班牙 Almeria 地区采集的西花蓟马对多杀菌素的抗药性指数超过万倍,该地区每生长季施用多杀菌素多达 10 次以上。2004 年从 Murcia 温室采集的西花蓟马也对多杀菌素产生了高水平抗性(RF > 3 682)。目前,已报道的西花蓟马抗性药剂包括拟除虫菊酯类的氯菊酯、联苯菊酯、氟丙菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯、溴氰菊酯、氰戊菊酯;氨基甲酸酯类的灭多威、恶虫威、灭虫威、伐虫脒、甲硫威、丁硫克百威;有机磷类的毒死蜱、二嗪磷、乙酰甲胺磷、乐果、马拉硫磷、甲胺磷、敌敌畏、杀扑磷;其它类型药剂如阿维菌素、吡虫啉、双甲脒、硫丹、氟虫腈、DDT 和多杀菌素等,遍布北美洲(美国、加拿大)、欧洲(西班牙、丹麦)、亚洲(以色列)、非洲和大洋洲(澳大利亚、新西兰)^[4-22]。其中,西花蓟马在美国西部抗药性的报道最早也最多,对多杀菌素产生抗药性报道最多的是西班牙。我国尚未见有西花蓟马田间抗药性的报道。

2 西花蓟马的抗药性机制

西花蓟马的抗药性机理涉及到表皮穿透率降低;多功能氧化酶、酯酶、谷胱甘肽 S - 转移酶的活性增加;靶标位点乙酰胆碱酯酶敏感性降低和活性增加,靶标位点乙酰胆碱受体的改变等。对于不同的杀虫剂,西花蓟马对其抗性机理也不同,对同一种杀虫剂往往涉及多种抗性机理。

2.1 表皮穿透率下降

这是报道较少的一个抗性机理。Zhao 等^[7]用药物动力学法研究了西花蓟马对氰戊菊酯的抗性机制,在点滴用¹⁴C 标记的氰戊菊酯后,于 1、12、24、48 h 后检测发现,氰戊菊酯对抗性品系的穿透速率比敏感品系均慢得多。48 h 后,抗性品系体内的¹⁴C 氰戊菊酯的量仅

为初始总量的 2.5%,而敏感品系中的为 9.5%。同时抗性品系代谢氰戊菊酯也比敏感品系快。

2.2 代谢抗性

西花蓟马对杀虫剂一个普遍的抗性机理是代谢抗性,即解毒酶系的活性增加^[23]。报道最多的是多功能氧化酶,对酯酶和谷胱甘肽 S - 转移酶也有报道。

Immaraju 等^[4]对抗氯菊酯的田间西花蓟马种群(抗性倍数分别为 2 812 和 8 716)用氧化胡椒基丁醚(Piperonyl butoxide, PBO)进行增效剂活体测定,增效倍数分别为 41 和 50 倍,说明多功能氧化酶在西花蓟马对氯菊酯的抗性中起着非常重要的作用。Zhao 等^[24]报道西花蓟马对二嗪磷的抗性与西花蓟马氧化代谢此化合物能力的增强有关。Zhao 等^[7,8]又报道此二嗪磷抗性品系能对恶虫威和氰戊菊酯产生交互抗性,用药物动力学法研究其抗性机理主要是增强的氧化代谢作用。表明西花蓟马对有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯的抗性均与多功能氧化酶有关。

Jensen^[25]对丹麦温室抗灭虫威西花蓟马品系(抗性倍数为 10)进行抗性机制研究,发现 PBO 对抗性种群没有增效作用,但酯酶、谷胱甘肽 S - 转移酶活性分别是敏感品系的 1.3 和 1.2 倍。Jensen^[15]又继续对 6 个灭虫威抗性种群进行研究,发现 PBO 和脱叶磷(S,S,S-tributylphosphosphorotriithioate, DEF)对 3 种抗性最强的种群(抗性倍数范围 16 ~ 34)均有增效作用。表明多功能氧化酶、酯酶和谷胱甘肽 S - 转移酶均有可能参与西花蓟马对灭虫威的抗性,导致抗性品系的代谢解毒能力增强。Maymó 等^[26]报道西班牙 2 个田间种群(均施用过灭虫威、氟丙菊酯、甲胺磷、硫丹)和 2 个筛选的抗性种群(分别用灭虫威和氟丙菊酯筛选)的酯酶和谷胱甘肽 S - 转移酶的活力水平相均比敏感种群高。Maymó 等^[27]又对西班牙 5 个抗氟丙菊酯和灭虫威的田间西花蓟马种群进行酶活性测定,发现抗性种群中的酯酶活性明显高于敏感种群,表明高水平的酯酶活性与

西花蓟马对氟丙菊酯和灭虫威的抗性有关。

但也有一些研究认为多功能氧化酶是主要的代谢抗性机制。Espinosa 等^[23]对分别用灭虫威、伐虫脍、氟丙菊酯、溴氰菊酯、甲胺磷和硫丹筛选的 6 个抗性种群用 PBO、DEF 和 diethyl maleate (DEM) 进行增效剂实验,发现 PBO 对氟丙菊酯有很强的增效作用,能使氟丙菊酯抗性种群的抗性倍数从 3 344 倍下降到 36 倍,对溴氰菊酯的增效倍数为 12.5 倍;对伐虫脍和灭虫威的增效倍数分别为 4.6 和 3.3 倍;对甲胺磷的增效倍数为 14.3 倍,对硫丹没有增效作用。在 6 个抗性种群中,没有发现 DEF 对测定的 6 种药剂有增效作用;DEM 只对硫丹有轻微的增效作用(3 倍)。这些研究表明,虽然谷胱甘肽 S-转移酶和酯酶也参与了对西花蓟马的代谢抗性,但由多功能氧化酶 P450 介导的解毒代谢作用增强可能是西花蓟马对不同类型杀虫剂产生抗性的主导机制,这也可能是西花蓟马对多种不同类型的杀虫剂产生交互抗性的主要原因。

2.3 乙酰胆碱酯酶敏感性降低和活性增高

乙酰胆碱酯酶(AChE)是有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的作用靶标,AChE 的敏感性降低是害虫对这些杀虫剂产生抗性的重要机理之一。西花蓟马对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性也涉及乙酰胆碱酯酶敏感性的降低和活性增高。

Zhao 等^[24]对二嗪磷汰选的种群(KCM)研究表明,除代谢抗性外,靶标位点乙酰胆碱酯酶的敏感性降低也是西花蓟马对二嗪磷一个重要的抗性机制。Jensen^[15]对抗灭虫威的 6 个种群用灭虫威、敌敌畏和毒扁豆碱进行了乙酰胆碱酯酶的抑制性实验,发现 2 个抗性种群($RR_{90} = 16$ 和 $RR_{90} = 34$)相对于敏感种群显著地表现出对这 3 种抑制剂的不敏感性。表明靶标位点乙酰胆碱酯酶的不敏感性与西花蓟马对灭虫威的抗性有关,但是 AChE 的抑制作用与抗药性水平无相关性。

Jensen^[25]从丹麦温室采集的西花蓟马对灭虫威有 10 倍左右的中度抗性,在酶活性实验中,发现乙酰胆碱酯酶活性显著增加,是室内敏

感种群的 2.6 倍,在抑制性实验中,未发现抗性种群中乙酰胆碱酯酶的敏感性下降。此后,此种群没有接触过杀虫剂,它对灭虫威的抗性水平下降,乙酰胆碱酯酶的活性也随之下降。但当继续用灭虫威进行筛选后,抗性倍数又增加,同时测得乙酰胆碱酯酶的活性水平也增加^[15]。这些结果表明乙酰胆碱酯酶活性的增加与此种群对灭虫威的抗性有关。

2.4 西花蓟马对多杀菌素的抗性机制

多杀菌素的作用靶标包括 γ -氨基丁酸(GABA)受体和乙酰胆碱受体(nAChR)^[28]。目前关于害虫对多杀菌素产生抗药性的机理是一个研究的热点。多数的研究表明害虫对多杀菌素的抗性机制主要是靶标位点的改变^[29,30]。

多杀菌素是目前防治西花蓟马的特效药剂,但是据报道西班牙东南部地区的西花蓟马已经对多杀菌素产生了高达 13 500 倍的抗性^[10]。Bielza 等^[10]研究发现此抗性品系对其他传统杀虫剂都不存在交互抗性,且 PBO、DEF 和 DEM 对多杀菌素抗性品系没有增效作用。推测西花蓟马对多杀菌素的抗性机制有可能是靶标位点乙酰胆碱受体的改变。Zhang 等^[31]也研究发现 PBO、DEF 和 DEM 对从日本采集的多杀菌素抗性品系($RR = 14.0$)没有增效作用,证明对多杀菌素的抗性与代谢抗性无关,可能与靶标位点的改变有关。但目前尚无有关靶标位点改变这一抗性机制的直接证据。至于抗性的遗传方式,不同学者的研究结果存在差异。Bielza 等^[32]的研究认为西花蓟马对多杀菌素的抗性是单基因隐性遗传,而 Zhang 等^[31]研究发现西花蓟马对多杀菌素的抗性属于不完全显性遗传,受多基因控制。可能在不同的抗性水平西花蓟马对多杀菌素表现不同的抗性遗传方式。

3 西花蓟马的抗性治理策略

抗药性治理的目的在于寻求合适的途径以减缓、阻止害虫抗药性的发生、发展、或使抗性害虫恢复到敏感状态,其关键就是要降低农药对害虫的选择压,这是抗性治理策略中的一个

基本元素^[33,34]。通过科学合理使用杀虫剂,结合其它防治方法如栽培防治、物理防治、生物防治等方式最终来减少杀虫剂的使用量、降低杀虫剂对西花蓟马的选择压,从而延缓西花蓟马抗药性的产生,恢复西花蓟马对一些杀虫剂的敏感性。

3.1 科学合理使用杀虫剂

Bielza^[22]提出了优化杀虫剂使用策略的建议:第一、仅在需要时使用杀虫剂。这样会降低杀虫剂对西花蓟马种群的选择压。及时监测西花蓟马的种群动态,仅在达到经济阈值时或当环境中的自然致死因素不能把西花蓟马种群数量降低到经济阈值以下时使用杀虫剂。第二、精确的施用杀虫剂。包括在害虫易防治的发育阶段施药,能用专一性杀虫剂时就不要用广谱性杀虫剂,还可以添加表面活性剂来增强杀虫剂的药效等等。西花蓟马个体小,若虫和成虫行为隐蔽,通常喜欢在花蕊和叶芽等包被严密的地方取食危害,所以要利用正确的施药设备和施药间隔期定期施药,才能使西花蓟马接触到杀虫剂。叶面喷雾施用杀虫剂,选用精密的施药设备产生足够小($< 100 \mu\text{m}$)的雾滴非常重要,这样雾滴才能够渗透入蓟马喜欢取食的花和花蕾等植物器官^[5]。必须按计划间隔5 d至少重复施药2次。这样第2次施药可以有效防治第1次施药时正处于卵期而后孵化的若虫和在土壤中化蛹羽化出的成虫。另外除了叶面施药以外,利用杀虫剂进行土壤处理可以有效减少西花蓟马化蛹的数量^[22,35]。第三、协调化学防治与其它防治方法。把化学防治与其它防治结合起来时,可以减少杀虫剂的使用量,从而达到降低杀虫剂对西花蓟马的选择压的目的。

在对西花蓟马的化学防治中应尽量避免混合使用杀虫剂,因为农药混合将有可能增加抗性发展的机率^[22]。但也有研究发现有些杀虫剂按合理比率混合,其中一个药剂可以做为增效剂。Bielza等^[36]发现可以利用氨基甲酸酯(丁硫克百威)来恢复西花蓟马对拟除虫菊酯的敏感性。在抗性治理中,施用低浓度的丁硫克百威和氟丙菊酯的混合物来防治西花蓟马,

可降低成本,减少施用到环境中杀虫剂的量,这些发现在西花蓟马抗性治理中具有重大的现实意义^[36]。其它用来做为增效剂的杀虫剂还有待开发。

3.2 农业防治(栽培防治)

农业防治西花蓟马包括很多方面。清洁田园,消除周围杂草,拔除有虫株;合理的进行作物间作和轮作;加强温室结构的密封性,防止西花蓟马进入温室大棚内;合理施用各种肥料,增强作物的生长势,提高作物自身的抗虫能力,改善生态环境,保护自然天敌等等,这些都是农业防治中很基本的环节。另外,根据西花蓟马在土壤中化蛹的特点,可以进行深度灌溉,这样可以大大减少西花蓟马成虫羽化的数量。在田边种植可供西花蓟马敏感种群栖息的杂草,以稀释抗性基因。还有其他一些有效的农业防治措施,下面仅对三个方面进行总结。

3.2.1 利用对颜色的趋性

西花蓟马对颜色有一定的趋向性,利用这一特性,可以制作有色粘板悬挂在植物的上方吸引西花蓟马从而达到捕杀的目的。利用西花蓟马成虫从土壤中羽化的特点把粘板挂在地面的正上方,也能捕获到不少数量的成虫。例如,在黄瓜田里,将粘板挂在地面或植株的正上方比挂在植物中部的捕虫效果要好^[37]。粘板的大小尺寸和形状不影响捕虫的效率,但是不同的颜色对西花蓟马的粘虫效果不同。蓝色和白色相对其它颜色的捕虫效果好,与不同作物也有一定的关系。例如,在莴笋田里,白色比黄色、蓝色或别的颜色的捕虫效果要好^[38]。在温室黄瓜上,其效果在黄色、蓝色、紫罗兰和白色之间有差异,尤其蓝色最好,但相互之间效果差异不显著^[39,40]。吴青君等^[41]在日光温室辣椒上从包括白色、粉色等18种颜色中筛选出了对西花蓟马诱集效果最好的海蓝色,波长为438.2~506.6 nm。

3.2.2 利用反射紫外线覆盖物

西花蓟马通过对紫外光谱的视觉信号来定位合适的寄主,因此反射紫外线的材料能够遮蔽西花蓟马的寄主定位信号。Stavisky等^[42]研究发现,利用此方法不仅延迟或减少了西花蓟马在作物上的迁

移,而且减少了番茄斑萎病的发生。但也有西花蓟马种群数量减少而番茄斑萎病的发生并没有减轻的情况^[43-46]。可能的原因是反射紫外线覆盖物可能干扰了天敌对西花蓟马的定位捕食^[47,48]。反射紫外线覆盖物和化学防治结合起来才能达到比较好的防治效果。例如,Reitz等^[49]认为在胡椒田里,利用反紫外线覆盖物同时在早期施用多杀菌素,能有效地降低西花蓟马的种群数量。

3.2.3 利用诱虫植物 先于现代杀虫剂应用以来,诱虫作物作为一种控制害虫的方法已经很普遍。最近,由于考虑到杀虫剂对人类和环境的潜在负面影响、杀虫剂抗性以及农产品的经济价值等方面的问题,诱虫植物作为害虫综合治理的一个手段又复兴起来^[50]。诱虫植物策略的主要优点在于害虫被吸引集中到了诱虫植物上,从而远离需要保护的作物。在这种情况下,栽培者可以利用自然天敌或者是微生物细菌(线虫等)或化学农药来控制作物上剩余的害虫。

到目前为止,诱虫植物主要用在防治园艺害虫上^[50-52]。有研究表明正在开花的菊花(*Dendranthema grandiflora* (Tzvelev))可作为诱虫植物,成为控制西花蓟马种群数量的综合治理策略之一^[53]。西花蓟马成虫更喜欢黄色的德兰士瓦雏菊和菊花^[54],正在开放的黄色菊花作为诱虫植物对西花蓟马成虫的吸引力要远大于没有开花的菊花^[55]。而且,在西花蓟马成虫飞进或通过温室的地方放置诱虫植物是最有效的。因为诱虫植物相比吸引已经在作物上的西花蓟马成虫,更有效的是阻断其飞到农作物上的路径^[55]。如果把诱虫植物从温室里移出或是事先对其用杀虫剂处理或者释放天敌,都能有效降低西花蓟马的种群数量。模拟实验已经证明用杀虫剂处理过的诱虫植物增加了其控制害虫的有效性^[56]。

3.3 生物防治

保护和大量繁殖、释放以及引进天敌,开展西花蓟马的生物防治,是有效控制西花蓟马的危害、减少用药、延缓西花蓟马抗药性的重要途径。

西花蓟马的天敌资源非常丰富,包括捕食性花蝽、草蛉、捕食性蓟马、捕食螨、寄生蜂、病原真菌和线虫^[57-59]。

在国外多种小花蝽如 *Orius laevigatus*、*O. majusculus*、*O. armatus*、*O. tantillus*、*O. heteroriosus* 已经被用来防治西花蓟马^[60,61]。例如,Fransen 和 Tolsma^[62]发现每隔一周每株菊花上释放一头小花蝽可以将西花蓟马的危害率从 40% ~ 90% 降低到 5% ~ 20%。Ravensberg 等^[63]认为在田间保证 10 头小花蝽成虫/m² 和相应作物植株上 5 ~ 10 头小花蝽,可以控制西花蓟马种群。Chambers 等^[64]报道温室甜椒和草莓上每株释放 1 ~ 2 头小花蝽能够有效防治西花蓟马。

应用胡瓜钝绥螨防治西花蓟马最早是在荷兰温室,并于 1985 年实现商品化,当时荷兰有 25% 的温室甜椒释放胡瓜钝绥螨防治西花蓟马^[65]。随后在商品化的基础上应用胡瓜钝绥螨防治西花蓟马得到了充分发展。与蔬菜相比较而言,花卉上西花蓟马的经济阈值低,在花卉上利用捕食螨防治西花蓟马的难度较大。然而,Gill^[66]发现在花卉植物的苗床上通过使用缓释袋在作物上缓慢释放胡瓜钝绥螨可将杀虫剂的使用次数从 5 次减少到 0.4 次。

另外,在美国加州、马里兰州和佛蒙特州展开了施用白僵菌防治西花蓟马的实验。结果显示白僵菌能够有效的防治玫瑰、康乃馨和向日葵上的西花蓟马,同时也能够抑制菊花上西花蓟马的种群数量^[67]。一种 Allantonematidae 科的寄生性线虫 *Thripinema nicklewoodi* 是西花蓟马发源地加利福尼亚州防治西花蓟马非常普遍的天敌^[68]。Greene 和 Parrella^[69]报道在加利福尼亚州田间采回的蓟马 19% ~ 33% 被 *T. nicklewoodi* 寄生。Heinz 等^[68]为了找寻防治西花蓟马的更有效天敌,调查了整个加利福尼亚州的康乃馨、菊花和玫瑰,发现 *T. nicklewoodi* 对西花蓟马具有很高的寄生率。

目前,国内关于天敌对西花蓟马的控制效应的研究很少,本土自然天敌的种类更是没有系统的报道。东亚小花蝽 *O. sauteri* 是重要的

捕食性天敌,张安盛等^[70,71]在室内研究发现东亚小花蝽成虫对西花蓟马若虫具有较强的捕食能力,26℃下理论日捕食量达51.3头;若虫对西花蓟马成虫也有较好的捕食潜能,理论日捕食量4龄若虫达23.0头,在自然界中对西花蓟马的控制能力有待进一步研究。胡瓜钝绥螨和巴氏新小绥螨也可以作为控制西花蓟马的有效天敌,而且巴氏新小绥螨在我国大部分省份均有分布^[72,73]。

3.4 培育抗虫植物

寄主植物抗性包括排趋性、抗生性或耐虫性三种抗性机制,可以影响昆虫对寄主的选择、昆虫的适合度和种群建立。寄主植物抗性作为害虫综合治理的组成部分,是经济、有效的防治西花蓟马的措施之一。努力开发培育寄主抗性品种,一方面可缓解西花蓟马对作物的危害,另一方面减少了化学农药的使用。对西花蓟马的抗虫作物研究包括:番茄^[74]、黄瓜^[75,76]、甜椒^[77]、菊花^[11,78,79]、棉花^[80]、玫瑰^[81]和凤仙花^[82,83]。

4 总结

我国于2003年第一次正式报道了西花蓟马的发生和危害,目前并无抗药性的发展。但害虫抗药性是一个国际性问题,害虫和抗性基因可以通过国际贸易而得到传播和蔓延,所以西花蓟马作为一种入侵性很强的害虫,它的潜在抗药性是不容忽视的。对西花蓟马的防治可主要采取生物防治结合农业防治,在种群数量未达到经济阈值时最好不使用杀虫剂防治。同时还须加强本土西花蓟马天敌的开发和研究,为有效实施生物防治打下基础。另外,准确判断田间西花蓟马种群是否已产生抗药性以及抗药性的程度和范围对于制定合理的抗药性策略是极为重要的,因此当前需要展开西花蓟马的抗药性监测,了解西花蓟马的抗性水平和抗药性发展动态,为制定和实施西花蓟马抗药性治理计划提供依据,避免或延缓抗药性的产生和发展。

参 考 文 献

- 1 Tommasini M. G., Maini S. *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and ornamental crops in Europe. In: Loomans A. J. M., van Lenteren J. C., Tommasini M. G., et al. (eds.). *Biological Control of Thrips Pests*. Wageningen Agricultural University Papers, Wageningen, The Netherlands, 1995: 1~42.
- 2 张友军,吴青君,徐宝云,等. 危险性外来入侵生物-西花蓟马在北京发生危害. *植物保护*, 2003, **29**(4): 58~59.
- 3 Lewis T. Pest thrips in perspective. In *Proceedings, The 1998 Brighton Conference-Pest and Diseases*. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 1998, Vol. 2, 385~390.
- 4 Immaraju J. A., Paine T. D., Bethke J. A., et al. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses. *J. Econ. Entomol.*, 1992, **85**: 9~14.
- 5 Robb K. L., Newman J., Virzi J. K., et al. Insecticide resistance in western flower thrips. In: Parker B. L., Skinner M., Lewis T. (eds.), *Thrips Biology and Management*. Plenum Press, New York, 1995: 341~346.
- 6 Broadbent A. B., Pree D. J. Resistance to insecticides in populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) from greenhouses in the Niagara Region of Ontario. *Can. Entomol.*, 1997, **129**: 907~913.
- 7 Zhao G., Liu W., Knowles C. O. Fenvalerate resistance mechanisms in western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.*, 1995, **88**: 531~535.
- 8 Zhao G., Liu W., Knowles C. O. Mechanism conferring resistance of western flower thrips to bendiocarb. *Pestic. Sci.*, 1995, **44**: 293~297.
- 9 Zhao G., Liu W., Brown J. M., et al. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.*, 1995, **88**: 1164~1170.
- 10 Bielza P., Quinto V., Contreras J., et al. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.*, 2007, **63**: 682~687.
- 11 Robb K. L., Parrella M. P. IPM of western flower thrips. In: Parker B. L., Skinner M., Lewis T. (eds.). *Thrips Biology and Management*. New York, Plenum Press, 1995: 365~370.
- 12 Brødsgaard H. F. Insecticide resistance in European and African strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) tested in a new residue-on-glass test. *J. Econ. Entomol.*, 1994, **87**: 1141~1146.

- 13 Martin N. A. , Workman P. J. Confirmation of a pesticide-resistant strain of western flower thrips in New Zealand. *Proc 47th New Zealand Plant Prot Conf , Waitangi Hotel , New Zealand , 1994. 144 ~ 148.*
- 14 Kontsedalov S. , Weintraub P. G. , Horowitz A. R. , *et al.* Effects of insecticides on immature and adult western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in Israel. *J. Econ. Entomol.* ,1998 ,**91**:1 067 ~ 1 071.
- 15 Jensen S. E. Mechanisms associated with methiocarb resistance in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* ,2000 ,**93**: 464 ~ 471.
- 16 Espinosa P. J. , Bielza P. , Contreras J. , *et al.* Field and laboratory selection of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) for resistance to insecticides. *Pest Manag. Sci.* ,2002 ,**58**: 920 ~ 927.
- 17 Espinosa P. J. , Bielza P. , Contreras J. , *et al.* Insecticide resistance in field populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in Murcia (south-east Spain). *Pest Manag. Sci.* ,2002 ,**58**: 967 ~ 971.
- 18 Herron G. A. , James T. M. Monitoring insecticide resistance in Australian *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) detects fipronil and spinosad resistance. *Austral. J. Entomol.* ,2005 ,**44**: 299 ~ 303.
- 19 Loughner R. L. , Warnock D. F. , Cloyd R. A. Resistance of greenhouse , laboratory , and native populations of western flower thrips to spinosad. *HortScience* , 2005 , **40**: 146 ~ 149.
- 20 Bielza P. , Quinto V. , Fernández E. , *et al.* Genetics of spinosad resistance in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera:Thripidae). *J. Econ. Entomol.* ,2007 ,**100**: 916 ~ 920.
- 21 Herron G. A. , James T. M. Insecticide resistance in Australian populations of western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae). *Gen. Appl. Ent.* ,2007 ,**36**: 1 ~ 5.
- 22 Bielza P. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.* ,2008 ,**64**(11) : 1 131 ~ 1 138.
- 23 Espinosa P. J. , Contreras J. , Quinto V. , *et al.* Metabolic mechanisms of insecticide resistance in the western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest Manag. Sci.* ,2005 ,**61**: 1 009 ~ 1 015.
- 24 Zhao G. , Liu W. , Knowles C. O. Mechanism associated with diazinon resistance in western flower thrips. *Pestic. Biochem. Physiol.* ,1994 ,**49**: 13 ~ 23.
- 25 Jensen S. E. Acetylcholinesterase activity associated with methiocarb resistance in a strain of western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pestic. Biochem. Physiol.* ,1998 ,**61**: 191 ~ 200.
- 26 Maymó A. C. , Cervera A. , Sarabia R. , *et al.* Evaluation of metabolic detoxifying enzyme activities and insecticide resistance in *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.* , 2002 ,**58**: 928 ~ 934.
- 27 Maymó A. C. , Cervera A. , Garcerá M. D. , *et al.* Relationship between esterase activity and acrinathrin and methiocarb resistance in field populations of western flower thrips , *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.* ,2006 , **62**: 1 129 ~ 1 137.
- 28 Thompson G. D. , Dutton R. , Sparks T. C. Spinosad—a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Manag. Sci.* ,2000 ,**56**: 696 ~ 702.
- 29 Shono T. , Scott J. G. Spinosad resistance in the housefly , *Musca domestica* , is due to a recessive factor on autosome 1. *Pestic. Biochem. Physiol.* ,2003 ,**75**: 1 ~ 7.
- 30 Trent P. , John A. M. , Philip B. A Da6 knockout strain of *Drosophila melanogaster* confers a high level of resistance to spinosad. *Insect Biochem. Molec.* ,2007 ,**37**: 184 ~ 188.
- 31 Zhang S. Y. , Kono S. , Murai T. , *et al.* Mechanisms of resistance to spinosad in the western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Insect Science* ,2008 ,**15**: 125 ~ 132.
- 32 Bielza P. , Quinto V. , Gr'avalos C. , *et al.* Stability of spinosad resistance in *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under laboratory conditions. *Bull. Entomol. Res.* ,2008 ,**98**(4) : 35 ~ 59.
- 33 Hoy M. A. Myths: models and mitigation of resistance to pesticides. *Phil. Trans. R. Soc. B.* ,1998 ,**353**:1 787 ~ 1 795.
- 34 Tabashnik B. E. Modeling and evaluation of resistance management tactics. In: Roush R. T. , Tabashnik B. E. (eds.). *Pesticide Resistance in Arthropods*. Chapman and Hall , New York ,1990. 153 ~ 182.
- 35 Thoeming G. , Draeger G. , Poehling H. M. Soil application of azadirachtin and 3-tigloyl-azadirachtol to control western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) : translocation and persistence in bean plants. *Pest Manag. Sci.* ,2006 ,**62**: 759 ~ 767.
- 36 Bielza P. , Espinosa P. J. , Quinto V. , *et al.* Synergism studies with binary mixtures of pyrethroid , carbamate and organophosphate insecticides on *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest Manag. Sci.* ,2007 ,**63**: 84 ~ 89.
- 37 Brodsgaard H. F. Monitoring thrips in glasshouse pot plant crops by means of blue sticky traps. *IOBC/WPRS Bulletin* , 1993 ,**16**(8) : 29 ~ 32.

- 38 Yudin L. S. , Mitchell W. C. , Cho J. J. Color preference of thrips (Thysanoptera: Thripidae) with reference to aphids (Homoptera: Aphidae) and leaf miners in Hawaiian lettuce farms. *J. Econ. Entomol.* ,1987 ,**80**(1) : 50 ~ 51.
- 39 Gillespie D. R. , Vernon R. S. Trap catch of western flower Thrips (Thysanoptera: Thripidae) as affected by color and height of sticky traps immature greenhouse cucumber crops. *J. Econ. Entomol.* ,1990 ,**83**(3) : 971 ~ 975.
- 40 Vernon R. S. , Gillespie D. R. Spectral responsiveness of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) determined by trap catches in greenhouses. *Environ. Entomol.* ,1990 ,**19**(5) : 1 229 ~ 1 241.
- 41 吴青君 徐宝云 张友军 等. 西花蓟马对不同颜色的趋性及蓝色粘板的田间效果评价. *植物保护* ,2007 ,**33**(4) , 103 ~ 105.
- 42 Stavisky J. , Funderburk J. E. , Brodbeck B. V. , et al. Population dynamics of *Frankliniella* spp. and tomato spotted wilt incidence as influenced by cultural management tactics in tomato. *J. Econ. Entomol.* ,2002 ,**95**: 1 216 ~ 1 221.
- 43 Greenough D. R. , Black L. L. , Bond W. P. Aluminum-surfaced mulch: an approach to the control of tomato spotted wilt virus in solanaceous crops. *Plant Dis.* ,1990 ,**74**: 805 ~ 808.
- 44 Riley D. G. , Pappu H. R. Evaluation of tactics for management of thrips-vectored tomato spotted wilt virus in tomato. *Plant Dis.* ,2000 ,**84**: 847 ~ 852.
- 45 Kring J. B. , Schuster D. J. Management of insects on pepper and tomato with UV-reflective mulches. *Fla. Entomol.* ,1992 ,**75**: 119 ~ 129.
- 46 Vos J. G. M. , Uhan T. S. , Sutarya R. Integrated crop management of hot pepper (*Capsicum* spp.) under tropical lowland conditions: Effects of rice straw and plastic mulches on crop health. *Crop Prot.* ,1995 ,**14**: 445 ~ 452.
- 47 Parker A. H. The predatory and reproductive behaviour of *Rhinocoris bicolor* and *R. tropicus* (Hemiptera: Reduviidae) thrips and progress of spotted wilt in tomato fields. *Crop Prot.* ,1969 ,**14**: 577 ~ 583.
- 48 Freund R. L. , Olmstead K. L. Role of vision and antennal olfaction in habitat and prey location by three predatory heteropterans. *Environ. Entomol.* ,2000 ,**29**: 721 ~ 732.
- 49 Reitz S. R. , Yearby E. , Funaerburk J. , et al. Integrated management tactics for *Frankliniella* thrips (Thysanoptera: Thripidae) in field-grown pepper. *J. Econ. Entomol.* , 2003 ,**96**(4) : 1 201 ~ 1 214.
- 50 Shelton A. M. , Badenes-Perez F. R. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* ,2006 ,**51**: 285 ~ 308.
- 51 Hokkanen H. M. T. Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* ,1991 ,**36**: 119 ~ 138.
- 52 Javaid I. , Joshi J. M. Trap cropping in insect pest management. *J. Sustain. Agric.* ,1995 ,**5**: 117 ~ 136.
- 53 Buitenhuis R. , Shipp J. L. , Jandricic S. , et al. Effectiveness of insecticide-treated and non-treated trap plants for the management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouse ornamentals. *Pes. Manag. Sci.* ,2007 ,**63**: 910 ~ 917.
- 54 Blumthal M. R. , Cloyd R. A. , Spomer L. A. , et al. Flower color preferences of western flower thrips. *HortTechnology* ,2005 ,**15**: 846 ~ 853.
- 55 Buitenhuis R. , Shipp J. L. Factors influencing the use of trap plants for the control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse potted chrysanthemum. *Environ. Entomol.* ,2006 ,**35**: 1 411 ~ 1 416.
- 56 Potting R. P. J. , Perry J. N. , Powell W. Possibilities and constraints of agroecosystem management as a pest management strategy: a simulation approach. In: Proc Brighton Crop Prot Conf , Pests and Diseases , British Crop Protection Council , Farnham , Surrey , UK ,2002. 91 ~ 96.
- 57 Ananthakrishnan T. N. Biosystematics of Thysanoptera. *Annu. Rev. Entomol.* ,1979 ,**24**: 159 ~ 183.
- 58 Ebssa L. , Borgemeister C. , Poehling H. M. Simultaneous application of entomopathogenic nematodes and predatory mites to control western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Biol. Control* ,2006 ,**39**: 66 ~ 74.
- 59 Shipp J. L. , Wang K. Evaluation of *Dicyphus hesperus* (Heteroptera: Miridae) for biological control of *Frankliniella Occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on green house tomato. *J. Econ. Entomol.* ,2006 ,**99**: 414 ~ 420.
- 60 Schmidt J. M. , Richards P. C. , Nadel H. , et al. A rearing method for the production of large numbers of the insidious flower bug , *Orius insidiosus* (Say). *Can. Entomol.* ,1995 , **127**: 445 ~ 447.
- 61 Morse J. G. , Hoddle M. S. Invasion biology of thrips. *Annu. Rev. Entomol.* ,2006 ,**51**: 67 ~ 89.
- 62 Franssen J. J. , Tolsma J. Releases of the minute pirate bug , *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae) , against western flower thrips , *Frankliniella occidentalis* (Pergande) on chrysanthemum. *Med. Fac. Land. Rijksunlv. Gent.* , 1992 ,**57**(2) : 479 ~ 484.
- 63 Ravensberg W. J. , Dissevelt M. , Altena K. , et al. Developments in the integrated control of *Frankliniella occidentalis* in sweet pepper and cucumber. In: Proceedings , The Fourth National Entomol Meeting in Greece , 1991. 260

- ~270.
- 64 Chambers R. J. , Long S. , Helyer B. L. Effectiveness of *Orius laevigatus* (Hem. : Anthocoridae) for the control of *Frankliniella occidentalis* on cucumber and pepper in the United Kingdom. *Biocontrol Sci. Tech.* ,1993 ,**3**(3) : 295 ~ 307.
- 65 de Klerk M. L. , Ramakers P. M. J. Monitoring population densities of the phytoseiid predator *Amblyseius cucumeris* and its prey after larges cale introductions to control *Thrips tabaci* on sweet pepper. *Med. Fac. L. Rijksunlv. Gent.* , 1986 , **51** : 1 045 ~ 1 048.
- 66 Gill S. Thrips management and biological control. *Grower Talks* ,1994 ,**58** (6) : 36 ~40.
- 67 Murphy B. C. , Morisawa T. A. , Newman J. P. , et al. Fungal pathogen provides control of western flower thrips in greenhouse flowers. *Cali. Agric.* ,1998 ,**52**(3) : 32 ~36.
- 68 Heinz K. M. , Heinz L. M. , Parrella M. P. Natural enemies of western flower thrips indigenous to California ornamentals. *IOBC/WPRS Bulletin* , 1996 ,**19** (1) : 51 ~ 54.
- 69 Greene I. D. , Parrella M. P. An entomophilic nematode , thrips in ermanickle woodi and an end oparasitic wasp , *Ceranisuss* sp. parasitizing *Frankliniella occidentalis* in California. *IOBC/WPRS Bulletin* ,1993 ,**16**(2) : 47 ~50.
- 70 张安盛 ,于毅 ,李丽莉 等. 东亚小花蜻成虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应. *生态学杂志* ,2007 ,**26** (8) : 1 233 ~ 1 237.
- 71 张安盛 ,于毅 ,门兴元 ,等. 东亚小花蜻若虫对西花蓟马成虫的捕食作用. *昆虫天敌* ,2007 ,**29**(3) : 108 ~112.
- 72 鄧军锐 ,任顺祥. 胡瓜钝绥螨对西花蓟马的功能反应和数值反应. *华南农业大学学报* ,2006 ,**27**(3) : 35 ~38.
- 73 张金平 ,范青海 ,张帆. 应用实验种群生命表评价巴氏新小绥螨对西花蓟马的控制能力. *环境昆虫学报* ,2008 ,**30** (3) : 229 ~232.
- 74 Kumar N. K. K. , Ullman D. E. , Cho J. J. Resistance among *Lycopersicon* species to *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* ,1995 ,**88** (4) : 1 057 ~ 1 065.
- 75 Mollema C. , Steenhuis G. , Inggamer H. Genotypic effects of cucumber responses to infestation by western flower thrips. In: Parker B. L. , Skinner M. , Lewis T. (eds.). *Thrips Biology and Management*. NewYork and London: Plenum Press ,1995. 397 ~401.
- 76 Soria C. , Mollema C. Life history parameters of western flower thrips susceptible and resistant cucumber genotypes. *Entomol. Exp. Appl.* ,1995 ,**74**: 177 ~ 184.
- 77 Fery R. L. , Schalk J. M. Resistance in pepper (*Capsicum annum* L.) to western flower thrips (*Frankkniella occidentalis* [Pergande]). *HortScience* ,1991 ,**26**(8) : 1 073 ~ 1 074.
- 78 de Jager C. M. , Butôt R. P. T. , Klinkhamer P. G. L. , et al. *Genetic variation in chrysanthemum for resistance to Frankliniella occidentalis*. *Entomol. Exp. Appl.* ,1995 ,**77**: 277 ~ 287.
- 79 Schuch U. K. , Redak R. A. , Bethke J. A. Cultivar , fertilizer and irrigation affect vegetative growth and susceptibility of chrysanthemum to western flower thrips. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* ,1998 ,**123**(4) : 727 ~ 733.
- 80 Trichilo P. J. , Leigh T. F. Predation on spider mite eggs by the western flower thrips , *Frankliniella occidentals* (Thysanoptera: Thripidae) , an opportunity in a cotton agroecosystem. *Environ. Entomol.* , 1986 ,**15** (4) : 821 ~ 825.
- 81 Gaum W. G. , Gilliomee J. H. , Pringle K. L. Resistance of some rose cultivars to the western flowert hrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Bull. Entomol. Res.* ,1994 ,**84**: 487 ~ 492.
- 82 Herrin B. , Warnock D. Resistance of impatiens germplasm to western flower thrips feeding damage. *HortScience* ,2002 ,**37** (5) : 802 ~ 804.
- 83 Warnock D. F. Resistance to western flower thrips feeding damage inimpatiens populations from Costa Rica. *HortScience* ,2003 ,**38**(7) : 1 412 ~ 1 427.