应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(3):488—496

西花蓟马专栏

外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范*

吕要斌[1] 张治军[1] 吴青君[2] 杜予州[3] 张宏瑞[4] 于 毅[5] 王恩东[6]
王鸣华[7] 王满囷[8] 童晓立[9] 吕利华[10] 谭新球[11] 付卫东[12]

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所 杭州 310021; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081;
3. 扬州大学园艺与植物保护学院 扬州 225009; 4. 云南农业大学植物保护学院 昆明 650201;
5. 山东省农业科学院植物保护研究所 济南 250100;6. 中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094;
7. 南京农业大学植物保护学院 南京 210095;8. 华中农业大学植物科技学院 武汉 430070;
9. 华南农业大学资源环境学院 广州 510640;10. 广东省农业科学院植物保护研究所 广州 510640;
11. 湖南农业科学院植物保护研究所 长沙 410125;12. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 北京 100081)

摘 要 针对入侵害虫西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)在我国部分地区暴发成灾的形势,公益性行业科研专项"外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范"项目组在除西藏、台湾、香港和澳门以外的30个省、区和直辖市开展了西花蓟马的调查、监测、预警和综合防控技术研究与示范。结果表明西花蓟马在北京、云南、浙江、山东等14个省市发生危害,尤以云南和北京两地最为严重,在全国呈快速蔓延趋势。明确了西花蓟马在我国的成灾机制;建立了西花蓟马高效诱捕技术;筛选出4种对西花蓟马具有显著控害潜力的本土天敌昆虫及病原微生物;筛选出5种对西花蓟马高效、对环境友好的防治药剂;明确西花蓟马重要发生区域北京和云南种群对主要化学药剂的抗性和机制;分别组建了基于农业措施防治、色板与引诱剂应用的引诱技术、生物防治和高效环保化学农药综合应用的10套西花蓟马防控技术体系,在我国北京、云南、山东和浙江等西花蓟马主要发生区域累计推广面积2.65万公顷,有效控制了西花蓟马的为害和扩散蔓延。

关键词 西花蓟马,监测,预警,生物制剂,可持续管理,示范

Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China

LV Yao-Bin[1**] ZHANG Zhi-Jun[1] WU Qing-Jun[2] DU Yu-Zhou[3] ZHANG Hong-Rui[4]
YU Yi[5] WANG En-Dong[6] WANG Ming-Hua[7] WANG Man-Qun[8] TONG Xiao-Li[9]
LV Li-Hua[10] TAN Xin-Qiu[11] FU Wei-Dong[12]

(1. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 4. College of Plant Protection, Yunan Agricultural University, Kunming 650201, China; 5. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 6. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 7. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 8. College of Plant Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 9. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 10. Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510642, China; 11. Institute of Plant Protection, Hunan Academy

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803025)。
** 项目首席专家,E-mail:luybcn@163.com
收稿日期:2011-04-20,接受日期:2010-05-05

of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China; 12. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Investigation, monitoring, forecasting and integrated management of western flower thrips (WFT) *Frankliniella occidentalis* (Pergande) were carried out in 30 Chinese provinces, excluding Tibet, Taiwan, Hongkong and Macao. The WFT is distributed in 14 provinces in China, including Beijing, Yunnan, Zhejiang and Shandong. This pest has caused serious damage in Yunnan and Beijing, and is spreading to other regions. The outbreak mechanism of WFT was clarified and effective monitoring techniques for this pest developed. The effects of 4 native, natural enemy species and entomopathogenic fungi were evaluated, and 5 efficient and environmentally friendly pesticides identified. Experiments to monitor the WFT's mechanism of the resistance to several pesticides were conducted. Methods and strategies for the integrated management of WFT are proposed. Ten prevention and control systems were established and demonstrated in Beijing, Yunnan, Zhejiang and Shandong. During these demonstrations, more than 50 thousand technical handbooks were delivered and 80 thousand farmers were trained on 26.5 thousand hm^2 of farms and orchards. This program had obvious economic, ecological and social benefits and proved effective in controlling the damage and spread of WFT.

Key words *Frakliniella occidentalis*, monitoring, forecast, biological control regents, sustainable management, demonstration

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 又称苜蓿蓟马,属缨翅目,蓟马科,是蔬菜、花卉等对多种农作物具有毁灭性危害的世界性入侵害虫(Kirk and Terry, 2003)。原产于北美洲,20 世纪 70 年代开始在美国蔓延,在不到 20 年的时间内扩散到整个北美(Kirk, 2002)。1983 年侵入欧洲花卉集散地 - 荷兰后,每年以 229 km 的速度在欧洲迅速蔓延,在不到 10 年的时间里就扩散到整个欧洲。目前,西花蓟马在世界五大洲近 70 个国家肆虐危害,并继续像瘟疫一样在世界各地迅速蔓延。西花蓟马取食植物的茎、叶、花、果,同时传播多种病毒,最后导致植物枯萎死亡(Tommasini and Maini, 1995; Kirk, 2002)。西花蓟马繁殖快、寄主植物广、对农药抗性强(Immaraju *et al.*, 1992; Robb *et al.*, 1995; Broadbent and Pree, 1997; Zhao *et al.*, 1995a, 1995b, 1995c),每到一处,犹如风卷残云,对当地农作物尤其是蔬菜和花卉产业造成惨重损失,作物大量减产甚至绝收,花卉完全失去观赏价值,严重影响农作物出口贸易。

我国西花蓟马最早于 2003 年首次报道(张友军等, 2003),随后通过对云南、北京和浙江的普查发现:西花蓟马在云南省呈现了以昆明为中心,呈放射状向四周扩散分布危害的现状;在北京则在北京市的近郊呈现点片式分布;而在浙江则呈零星分布(张友军等, 2005)。据 2006 年北京及其周边地区调查发现,西花蓟马已广泛扩散到通州、大兴、朝阳、顺义、房山等远郊区县,成为当地蔬菜作物最主要的害虫之一(吴青君等, 2007)。近年来,随着农业产业结构的调整,蔬菜及花卉产业已成为我国农业的主导产业之一。各种蔬菜、花卉、绿化苗木等混栽及南北、东西大调运现象十分普遍,为西花蓟马的快速扩散提供便利。据西花蓟马的生活习性以及在北京、云南、浙江等地已建立种群的事实推断,西花蓟马在我国许多省份,特别是南方各省都有发生为害的可能。如果不及时对其进行监控和详细深入研究,在不久的将来,其极有可能像其他外来入侵生物,如美洲斑潜蝇、烟粉虱等一样成为我国蔬菜及花卉上一种普遍发生的重要害虫,并造成不可挽回的损失。2008 年 5 月,"外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范"公益性行业科研专项获农业部批准立项,由浙江省农业科学院牵头,联合 12 家单位承担,86 名专家、学者和研究生队伍历时 3 年,明确了西花蓟马在我国的发生分布和危害规律,初步建立起西花蓟马监测预警与应急防控技术体系,并将各项技术集成在浙江、云南、北京和山东等地开展了应用示范工作,本文就该项目取得的主要研究进展进行了概述。

1　西花蓟马预警系统研究

1.1　西花蓟马在我国的适生区分析

利用最新的 CLIMEX 3.0 软件和 CRU 气象数据,以国内西花蓟马虫源地和严重发生地—昆明为气候匹配参考点分析其在我国不同地区的潜在性分布,结果如图 1 所示,我国西南地区云南、四

川、重庆和贵州；华中地区湖北、湖南西北部、河南、陕西和山西南部；华东地区安徽、江苏、浙江和山东；华北地区河北南部、北京和天津；以及东北地区辽宁是西花蓟马在我国的主要适生区。

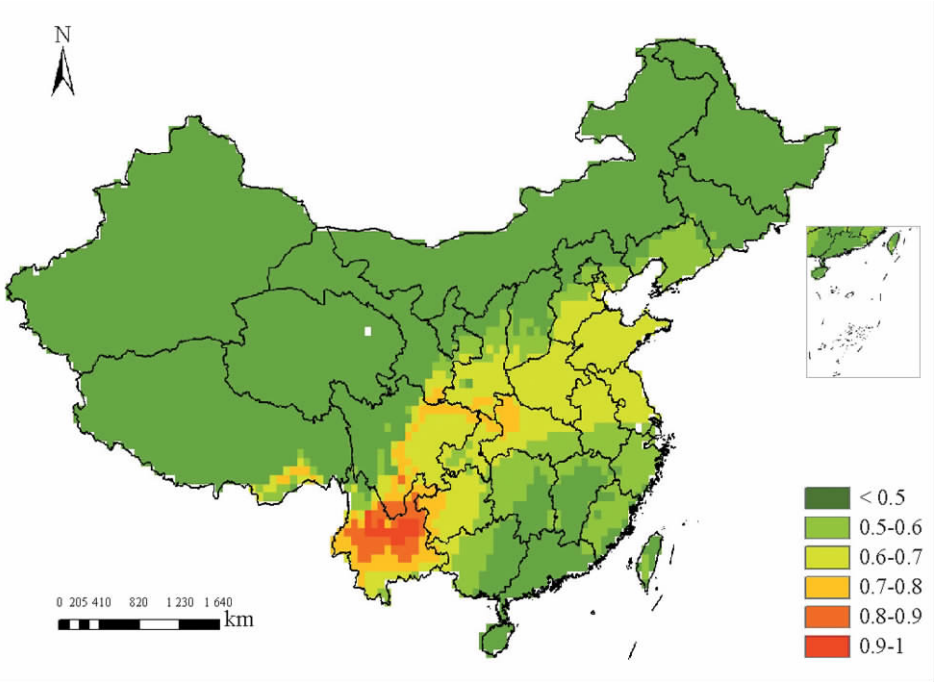

图 1 西花蓟马在我国的潜在适生区预测

Fig. 1 The potential distribution areas of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China

地图来源：底图下载于国家基础地理信息系统(http://nfgis.nsdi.gov.cn)提供的 1:400 万地图数据，下图同。

Base map is downloaded from http://nfgis.nsdi.gov.cn/with the scale of 1: 4 000 000. The same for the following figures.

1.2 我国不同地区西花蓟马发生世代预测

根据线性模型估计西花蓟马的发育起点温度为 7.4℃，充分完成发育所需的有效积温为 208 日·度。结合我国昆虫不同分布区系的田间气象资料(月平均温度)，应用有效积温法则分别对华南(广州)、华中(武汉)、华北(北京)、西南(昆明、丽江)和东北(沈阳)地区西花蓟马的年发生代数进行预测，结果表明，不考虑其它阻碍生长发育因素的情况下，华南、华中、华北和东北地区的年发生代数分别为 24～26、16～18、13～14 和 1～4 代，西南地区昆明与丽江分别为 13～15 和 8～10 代(张治军等，未发表资料)。

1.3 西花蓟马的远程诊断和发生、分布、监测等信息网络平台建设

经过项目组 3 年通力协作，建成我国蓟马基础研究、分类诊断的专业网站——“中国蓟马网”(http://www.thrips.com.cn，备案号：浙 ICP 备 09008017 号)，作为项目研究成果示范和公益服务。截至 2011 年 4 月，“中国蓟马网”浏览量达 52 243次，访问者达 6 653 位。该平台包括我国农业蓟马害虫信息数据库，可在线浏览和查询 5 科 48 属 105 种蓟马分类地位、分布、寄主植物、形态特征、危害性状等信息；蓟马分类鉴定基础知识的可视化信息库，由分类专业词汇库和分类基础知识教学演示动画，制作、在线发布蓟马分属、分种鉴定参考检索表组成，使非蓟马分类专家用户能清晰认识蓟马鉴别的关键形态部位和特征，有助于蓟马普查的分类鉴定工作；蓟马普查数据收集及规范入库标准，基于此标准和项目组普查数据，建立蓟马分布动态信息 GIS 可视化平台，为主要蓟马全球分布、我国蓟马普查结果等信息提供直观浏览和区域查询，截至 2011 年 4 月，平台已收录全国蓟马普查数据 10 015 条。

2 我国西花蓟马发生、分布与为害研究

2.1 我国西花蓟马发生与分布情况

经多年来的调查,明确我国西花蓟马分布现状如图 2 所示,西花蓟马主要集中发生在云南、浙江、江苏、河南、山东、天津、北京等东部沿海花卉贸易大省(市),而浙江省多在花店、花鸟市场等花卉输入地发现(吕要斌等,未发表资料)。

图 2　我国西花蓟马发生及分布情况

Fig. 2　The distribution areas of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in china

2.2　我国西花蓟马为害情况

参照吕要斌和张治军(2010)标准,西花蓟马在云南省调查的 25 地区内,除西双版纳、丽江和元谋 3 地区尚未采集到以外,在昆明和大理等地区西花蓟马对蔬菜和花卉危害大都 3 ~ 4 级,危害高峰期可达 5 级以上,寄主植物种类多达 45 种,并且是番茄斑萎病毒主要传播媒介,近年因西花蓟马发生危害加剧,云南番茄斑萎病毒病暴发,导致蔬菜、花卉生产减产,甚至绝收;北京地区的调查结果表明,西花蓟马在海淀、门头沟、通州、丰台以及昌平地区发生,寄主植物种类多达 30 余种,主要在大棚等设施蔬菜上危害,如辣椒上危害程度在 4 ~ 5 级;而在浙江、江苏、河南、山东、辽宁以及天津等地区田间已有稳定种群,但是零星发生,危害程度 1 ~ 3 级。

3　西花蓟马暴发成灾机制研究

3.1　不同生境下西花蓟马种群动态、生活史

根据云南、北京和浙江田间西花蓟马种群动态调查结果,作者发现西花蓟马在云南、北京和浙江等不同生态区域、不同耕作方式和不同寄主植物上的种群动态趋势不同。西花蓟马田间数量在云南蔬菜西葫芦上是 5 月达到发生高峰,导致西葫芦过早枯萎,而在辣椒上是 3 月底—4 月初的花盛期达到高峰。根据分别在云南蒙自石榴和华坪芒果 2 种果树上西花蓟马种群动态调查发现,石榴树上西花蓟马在整个调查期间 3 至 6 月都维持较高水平,且不同调查时间差异不明显,但是空间分布差异明显,石榴树下部花朵西花蓟马虫量明显较中、上部多,而丽江华坪县芒果园,2009 年蓟马危害严重,危害率达 100%,但西花蓟马不是主要种类,2010 年因西南地区严重干旱,芒果园蓟马暴发成灾,主要蓟马种类为西花蓟马,比例达 95%,导致芒果嫩叶和幼果表面组织挫伤,然后木栓化(张宏瑞等,未发表资料);北京调查了塑料大棚栽培的辣椒上西花蓟马种群动态,西花蓟马种群数量在辣椒定植后 1 个月增长缓慢,进入花期西花蓟马种群数量开始急剧上升,6 月份达最高,

且维持高水平数量达 1 个月之久，直至辣椒拉秧（吴青君等，未发表资料）；在浙江，2009 年作者在 2008 年发现西花蓟马的杭州萧山农科所和西湖景区茅家埠监测了西花蓟马的年发生动态，结果发现西花蓟马在浙江种群数量不大，平均不到 1 头/花，但是调查期间不同寄主植物上西花蓟马的数量差异明显，西花蓟马数量：一年蓬 > 空心莲子草 > 金丝桃（郦卫弟等，未发表资料）。

3.2 温度、寄主植物等环境因子对西花蓟种群的影响

通过观察研究西花蓟马种群在 15、20、25、30 和 35℃条件下的生长发育、存活与繁殖能力。不同温度条件下西花蓟马从孵化到羽化成成虫的整个发育过程当中以 20℃条件下的存活率最高，为 62.8%，而 35℃时没有个体发育到成虫。西花蓟马成虫寿命随温度的升高而明显缩短，在 15℃下，平均寿命为 36 d，最长寿命达 60 多天；在 30℃下，西花蓟马的平均寿命为 10 d。西花蓟马的种群增长参数净生殖率（R_0）、内禀增长率（r_m），在 25℃时达最高值分别为 20.1、0.178，而在 15℃下分别仅为 18.67、0.096（张治军等，未发表资料）。

为研究不利温度对西花蓟马的影响，作者将 3 日龄成虫置于 18 或 31℃下分别锻炼 1、2、3 d 后，检测其温度耐受性和繁殖力。结果表明，在 18℃下的持续锻炼明显提高西花蓟马的耐寒性与耐热性，这证实了高低温胁迫间存在交互抗性；经 31℃锻炼的西花蓟马明显提高其耐热性，但耐寒性未能得到相应的增强。经 18℃锻炼后，西花蓟马的繁殖力显著下降；31℃锻炼对其繁殖力没有明显影响。这表明西花蓟马获得的耐受性是以繁殖力降低为代价。在 36 ~ 44℃高温下暴露 2 和 4 h，在相同高温处理条件下，同一虫态西花蓟马的存活率要高于花蓟马；在 -2 ~ 10℃低温下暴露 2 和 4 h，在相同低温处理条件下，同一虫态西花蓟马的存活率也要高于花蓟马，结果表明：2 种蓟马对高温和低温的适应能力不同，本地种花蓟马对高温和低温均比较敏感，而外来入侵害虫西花蓟马对极端温度具有较强的适应性。

在 27℃条件下西花蓟马在不同蔬菜（黄瓜 *Cucumis sativus* L. 品种为中农 8 号、甘蓝 *Brassica oleracea* L. 京丰 1 号、甜椒 *Capsicum. annuum* L. 中椒 5 号、菜豆 *Phaseolus vulgaris* L. 供给者和番茄 *Lycopersicon esculentum* M. 中杂 9 号）叶片上的生物学特性表现明显差异。西花蓟马在黄瓜叶片上发育历期最短，净增殖率和种群增长指数最高，相反在辣椒叶片上的表现最差。西花蓟马在从卵到成虫的发育历期辣椒 > 番茄 > 甘蓝 > 菜豆 > 黄瓜，在黄瓜、甘蓝和番茄上的存活率较高，为 75% ~80%，而在辣椒上仅 50% 发育到成虫。西花蓟马在甘蓝上的繁殖能力最强，平均每雌的一龄若虫数达（76.62 ± 11.79）头，在黄瓜上的产卵速率最快，平均每雌每天的若虫数为（6.12 ± 1.81）头，而在辣椒上繁殖能力和产卵速率都最低，分别仅 7.67 ± 3.35 和 1.89 ± 0.91。西花蓟马在黄瓜上的内禀增长率最高，达到 0.208，在甘蓝、菜豆、番茄和辣椒上内禀增长率分别为 0.184、0.164、0.100 和 0.017（Zhang *et al.* 2007）。

在 25℃条件下，组建西花蓟马取食豆科植物：大豆叶片、豇豆叶片、四季豆叶片和四季豆豆荚时的实验种群生命表。结果表明，西花蓟马未成熟期取食四季豆豆荚时存活率最高，取食其它 3 种豆科蔬菜时存活率相差不大。西花蓟马取食四季豆豆荚时内禀增长力最高为 0.1626，取食豇豆叶片时最低为 0.0834，净增值率也是取食四季豆豆荚时最高，取食大豆叶片时最低，表明四季豆豆荚最有利于西花蓟马的生长发育和繁殖。结合易于操作等因素当前室内饲养西花蓟马种群通常应用豆荚做食料（李景柱等，2009；郅军锐等，2010）。

3.3 同一生态位其他害虫对西花蓟马的影响

西花蓟马与烟粉虱相互之间存在产卵干扰作用，同时存在时都会导致对方的产卵量和产卵速度下降，有西花蓟马存在时，烟粉虱的产卵量和产卵速度下降幅度更大，但是在相同的条件下，观察西花蓟马和烟粉虱的种群动态，烟粉虱的种群增长趋势大于西花蓟马种群增长，可能跟烟粉虱的繁殖能力大于西花蓟马繁殖能力有关（郦卫弟等，未发表资料）；在相同条件下单独饲养西花蓟马与花蓟马，或者以不同比例混合饲养西花蓟马和花蓟马，结果发现西花蓟马的存活率大于花蓟马，在相同条件下调查西花蓟马和花蓟马单独种群，或者以不同比例混合西花蓟马与花蓟马种群，结果发现西花蓟马的种群增长速度大于花蓟马的种群增长速度，结合西花蓟马对极端温度具有较强的适应性，表明西花蓟马相对花蓟马表现出竞争优

势(郦卫弟等,未发表资料);有红蜘蛛存在时,对西花蓟马的日平均产卵量影响不大,但总产卵量下降,有西花蓟马存在时,红蜘蛛的日均产卵量和总产卵量都明显下降(吴青君等,未发表资料)。

3.4　西花蓟马传播的植物病毒对西花蓟马的影响

番茄斑点萎蔫病毒诱导寄主植物反应对西花蓟马行为和种群增长等生物学特性,以及西花蓟马天敌捕食行为产生了重要影响。西花蓟马不仅明显偏好于番茄斑点萎蔫病毒发病植株上取食并产卵(Bautista *et al.*, 1995;Maris *et al.*, 2004),而且在番茄斑点萎蔫病毒发病植株上若虫的存活率更高,发育速率更快(Maris *et al.*, 2004; Belliure *et al.*, 2005;Stumpf and Kennedy, 2007),此外在番茄斑点萎蔫病毒发病植株上发育的若虫个体明显比在健康植株上发育的若虫大,活动能力更强,导致在番茄斑萎病毒发病植株上生长、发育的西花蓟马躲避天敌捕食的几率和能力加大,从而降低西花蓟马的捕食风险(Belliure *et al.*, 2008)。作者分别研究了西花蓟马在辣椒、番茄 3 种处理(健康 CK、机械损伤 MD、机械接种番茄斑萎病毒 MI)叶片上的生长发育、存活及种群增长。结果表明番茄斑萎病毒诱导寄主植物辣椒反应明显使西花蓟马发育历期缩短,成虫寿命延长,繁殖能力提高,种群增长加速(朱秀娟等,2011);而在番茄叶片上,番茄斑萎病毒可以缩短西花蓟马未成熟期,提高成虫寿命,加速种群增长,但均未达显著水平(朱秀娟等,未发表资料)。因此我们推测番茄斑萎病毒诱导寄主植物反应对媒介昆虫西花蓟马影响因寄主植物种类不同,其影响程度呈现差异,其具体机制有待进一步研究。

3.5　西花蓟马抗药性监测及其治理

据有关报道国外西花蓟马对有机氯、有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯类杀虫剂及环保类型的杀虫剂产生了不同程度的抗药性(Immaraju *et al.*, 1992; Robb *et al.*, 1995; Broadbent and Pree, 1997; Zhao *et al.*, 1995a,1995b,1995c)。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(龚佑辉等,2010)。我国 2009 年北京海淀地区西花蓟马对溴氰菊酯的敏感度下降(抗性倍数为 4.13),昌平地区西花蓟马对溴氰菊酯和甲维盐的敏感度下降(抗性倍数分别为 4.13 和 3.30),两个地区的西花蓟马种群对其他药剂均处于敏感状态(抗性倍数 <3)。2010 年北京海淀地区西花蓟马对氯氟氰菊酯产生了中等水平抗药性(抗性倍数为 39.67),对溴氰菊酯的敏感度下降(抗性倍数为 4.55),对其它杀虫剂仍处于敏感状态(抗性倍数 <3)。昌平地区西花蓟马对茚虫威、溴氰菊酯、灭多威和吡虫啉产生了低水平抗药性(抗性倍数分别为 6.50、5.79、5.46 和 9.55),对甲维盐和多杀菌素的敏感度下降(抗性倍数分别为 3.53 和 4.00),对其他杀虫剂仍处于敏感状态(抗性倍数 <3)(王泽华等,未发表资料)。

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。Maymó 等(2006)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(2005)对分别用灭虫威、伐虫脒、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,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。

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(Bielza *et al.*,2007),Bielza 等(2007)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(2008)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(2008)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(2008)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，王泽华等(2011)的研究结果与之一致。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。

4 西花蓟马控制技术研究

4.1 西花蓟马抗性寄主植物筛选

测定了不同辣椒品种对西花蓟马耐虫性，结果表明:20 个品种大部分对西花蓟马抗耐性都较差，其中又以兴蔬绿剑最差，但是湘研 13 号和博辣四号表现出较好的耐抗性，并且与兴蔬绿剑等 14 个品种存在显著差异。测定了不同番茄品种对西花蓟马耐虫性，结果表明:10 个品种大部分对西花蓟马抗耐性都较差，其中又以极品红冠番茄最差，仅仅中杂 8 号番茄、美国大红和上海 908 表现出一定的耐虫性，与极品红冠番茄存在显著差异。西花蓟马为害后，过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)酶活性都发生了一定变化，抗性品种与敏感品种 CAT 未为害时含量无明显差异，而较抗品种 POD 未为害时含量显著高于较感品种；西花蓟马取食为害后，POD 含量随为害时间的增加而上升(谭新球等，未发表资料)。

4.2 西花蓟马防治药剂筛选

室内毒力测定结果表明多杀菌素类 2.5% 菜喜对西花蓟马若虫虫毒力最高，LC_{50} 值为 0.11 mg/L;5% 锐劲特和 2.2% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐毒力较高，LC_{50} 值分别为 0.65 mg/L 和 0.68 mg/L;其次为 48% 乐斯本，其 LC_{50} 值为 1.04 mg/L;接下来就是 0.9% 北农爱福丁、10% 除尽、4.5% 高效氯氰菊酯，其 LC_{50} 分别是 4.81 mg/L、5.02 mg/L、9.63 mg/L;20% 丁硫克百威、90% 灭多威和 20% 啶虫脒的 LC_{50} 值分别为 44.9221 mg/L、63.7282 mg/L 和 92.3636 mg/L;其中毒力最差的是 18% 杀虫双 LC_{50} 为 212.3159 mg/L。而对西花蓟马成虫毒力 LC_{50} 从高到低依次是:菜喜 > 锐劲特 > 乐斯本 > 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 > 除尽 > 北农爱福丁 > 高效氯氟氰菊酯 > 丁硫克百威 > 啶虫脒 > 杀虫双 > 灭多威。其中多杀菌素类 LC_{50} 值为 0.02 mg/L，而毒力最差的是灭多威，其 LC_{50} 值为 365.0319 mg/L，LC_{50} 值大约是菜喜的 18 250 倍。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和除尽作用没有差异，而菜喜与其他 10 药剂间具有明显的差异，同是氨基甲酸酯类的灭多威与丁硫克百威间没有明显差异，而乐斯本和锐劲特与其他的药剂间的毒力具有明显差异。田间药效试验表明:2.5% 菜喜(SC) 31.25 ppm，62.5 ppm 药后 3 d 和 7 d;10% 除尽(SC) 50 ppm 药后 7 d;1.8% 阿维菌素(EC)药后 1 d;70% 艾美乐(WP)35 ppm 药后 3 d、70 ppm 药后 1 d;20% 啶虫脒 250 ppm 药后 3 d、500 ppm 和 1 000 ppm 药后 1、3、7 d 防效都在 70% 以上，表现出较好的田间防治效果。综合室内毒力和田间药效试验结果推荐 2.5% 菜喜(SC)、10% 除尽(SC)、1.8% 阿维菌素、70% 艾美乐(WP)、20% 啶虫脒可以作为防治西花蓟马的田间用药(张治军等，未发表资料)。

4.3 西花蓟马物理和生物防治技术研究与开发

同一敏感波长单色光下，光强对西花蓟马有较大影响，总体上其趋光率和避光率随光强增强而增大。通过光谱和光强反应曲线表明:西花蓟马对 498 ~ 524 nm 波段反应最为敏感和稳定，可作为光源或颜色防治器械研究重点;380 nm 下，随着光强度减弱而趋性下降;而 440 nm 下，趋、避光率相似，且避光率随光强减弱变化差异不大，并且此波长下避光率较高，亦可加以利用，将其研制成为诱虫板商品，田间使用效果优于黄板和国外产蓝板，可用于西花蓟马的防治和种群监测(吕利华等，未发表资料)。

西花蓟马聚集信息素(neryl (S)-2-methylbutanoate)是由西花蓟马雄虫释放的一种挥发性信息化合物，该化合物对西花蓟马雌、雄成虫均具有非常高的引诱活性。目前已成功进行了合成，通过生物活性测定，表明本项目合成的化合物对西花蓟马雌、雄成虫均具有很高的引诱活性。

球孢白僵菌 MZ041016 菌株、球孢白僵菌 MZ050724 菌株和蜡蚧轮枝菌 MZ041024 菌株对西花蓟马成虫和若虫的毒力均较高。虫生真菌菌株对西花蓟马的累计校正死亡率随着分生孢子液浓度的升高而升高,随着时间的延长而升高,对西花蓟马的致死中浓度随着时间的延长而逐渐降低,致死中时间随着分生孢子液浓度的升高而逐渐缩短。球孢白僵菌 MZ041016 菌株对西花蓟马的田间防效在浓度为 3.6×10^8 个/ mL 时防效最高,药后第 7 天的防效达 70 ~ 80%。

球孢白僵菌 MZ050724 菌株对辣椒西花蓟马有较好的防治效果在一定范围内相对防效随孢子夜浓度的增大而增大,随时间的推移而增大。蜡蚧轮枝菌 MZ041024 菌株对辣椒西花蓟马的防治效果在一定范围内随浓度的增大和时间的推移而增强(雷忠仁等,未发表资料)。

天敌昆虫是影响外来入侵害虫种群动态的关键因子,同时也是对外来入侵害虫进行持续控制的关键措施。根据云南、广西、贵州省调查玉米、月季、油菜花、蚕豆花、三叶草、绿肥、藜等上花蝽科天敌昆虫共 265 头。鉴定出 10 种花蝽种类,即黑纹透翅花蝽 *Montandoniola moraguesi* (Puton)、二叉小花蝽 *Orius bifilarus* Ghauri、微小花蝽 *O. minutus* (Linnaeus)、南方小花蝽 *O. strigicollis* (Poppius)、中国小花蝽 *O. chinensis* Bu *et* Zheng、淡翅小花蝽 *O. tantillus* (Motschulsky)、荷氏小花蝽 *O. horvathi* (Reuter) 和黑翅小花蝽 *O. agilis* (Flor)、邹氏原花蝽 *Anthocoris zoui* Bu *et* Zheng 和横带原花蝽 *A. zhengi* Pericart。其中,二叉小花蝽 *Orius bifilarus* Ghauri 和南方小花蝽 *Orius strigicollis* (Poppius))分别占到 19.7% 和 13.6%,目前已筛选出数种对西花蓟马控害潜力高的捕食性天敌(捕食螨、小花蝽等)(张宏瑞等,未发表资料),同时也对已商业化的天敌(胡瓜钝绥螨)的控害效果进行了评价。初步建立了捕食性天敌胡瓜钝綏螨和东亚小花蝽室内规模化生产技术流程,为西花蓟马的生物防治夯实了基础。

5　展望

通过本项目的研究,已基本清楚了西花蓟马在我国的发生情况:西花蓟马在云南稳定发生而且危害呈加深趋势;北方发生成偶然性;浙江等省份发现小种群,是否稳定有待进一步确定。如何切实有效的控制西花蓟马在全国范围内的进一步快速扩散,使它不至于像 B 型、Q 型烟粉虱发现时已经在全国多数地区泛滥成灾。为了达到以上目标,需要加强以下几个方面的工作:对已建立的防控措施,加以完善,在不同的农作物种植系统灵活推广运用,如果可能在相关作物大种植基地由当地政府部门引导,项目组去指导建立统防统治的专业化队伍,有效降低西花蓟马在云南的种群数量,尤其是花卉上的种群数量,因为云南的花卉占了全国市场的 90% 以上,云南一年四季每天都有大量的花卉出港到全国各地;基础研究方面:根据西花蓟马在我国发生范围相对较小的事实,那么防控的风险相反相对较大,许多关于入侵机理方面的知识相当匮乏,比如,小种群抵达某个地区、定殖成功、到扩散等不同的阶段,每个阶段“阿里效应”如何起作用?所以明确我国不同地区西花蓟马所存在的阿利效应,有利于采取不同有效地防控措施。所谓阿利效应,即种群数量大小低于某一值时,种群的适合度跟种群数量或种群密度呈正相关,反之则不然。阿利应跟生物自身特性、生物和非生物的环境因素联系非常紧密;西花蓟马除了直接为害,更重要的是传播病毒。我们需要研究西花蓟马的发生跟我国几种主要番茄斑萎病毒的发生、流行之间的关系,希望通过控制西花蓟马有效控制几种番茄斑萎病毒的流行;抗虫、抗病品种的选育,在抗性筛选的基础上,利用已有品种抗虫和抗病的性状,发掘、分离抗性基因,然后通过分子育种培育具有自主知识产权的 1 ~ 2 种抗虫、抗病品种。

参考文献(References)

Bautista RC, Mau RFL, Cho JJ, Custer DM, 1995. Potential of tomato spotted wilt tospovirus plant hosts in Hawaii as virus reservoirs for transmission by *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Pergande). *Phytopathology*, 85 (9): 953—958.

Belliure B, Janssen A, Sabelis MW, 2008. Herbivore benefits from vectoring plant virus through reduction of period of vulnerability to predation. *Oecologia*, 156: 797—806.

Belliure B, Janssen A, Maris PC, Peters D, Sabelis MW, 2005. Herbivore arthropods benefit from vectoring plant viruses. *Ecology Letters*, 8: 70—79.

Bielza P, Quinto V, Contreras J, Torné M, Martín A,

Espinosa PJ, 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.*, 63: 682—687.

Bielza P, Quinto V, Grávalos C, Fernández E, Abellán J, Contreras J, 2008. Stability of spinosad resistance in *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under laboratory conditions. *Bull. Entomol. Res.*, 98(4): 35—59.

Broadbent AB, Pree DJ, 1997. Resistance to insecticides in populations of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) from greenhouses in the Niagara Region of Ontario. *Can. Entomol.*, 129: 907—913.

Espinosa PJ, Contreras J, Quinto V, Grávalos C, Fernández E, Bielza P, 2005. Metabolic mechanisms of insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Pest Manag. Sci.*, 61: 1009—1015.

龚佑辉，吴青君，张友军，徐宝云，2010. 西花蓟马的抗药性及其治理策略. 昆虫知识，47(6):1072—1080

Immaraju JA, Paine TD, Bethke JA, Robb KL, Newman JP, 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses. *J. Econ. Entomol.*, 85: 9—14.

Kirk WDJ, 2002. The pest and vector from the West: *Frankliniella occidentalis*//Marullo R, Mound LA (eds.). Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the Seventh International Symposium on Thysanoptera. Australian National Insect Collection, Canberra. 33—44.

Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agr. Forest Entomol.*, 5: 301—310.

李景柱，郅军锐，袁成明，王和东，2009. 西花蓟马在不同豆科蔬菜上的繁殖力. 贵州农业科学，37(6): 114—115.

吕要斌，张治军，2010. 西花蓟马应急防控技术指南//张国良主编. 农业重大外来入侵生物应急指南. 北京：中国科学出版社. 514—532.

Maris PC, Joosten NN, Goldbach RW, Peters D, 2004. Tomato spotted wilt virus infectionimproves host suitability for its vector *Frankliniella occidentalis*. *Phytopathology*, 94: 706—711.

Maymó AC, Cervera A, Dolores Garcerá M, Bielza P, Martínez-Pardo R, 2006. Relationship between esterase activity and acrinathrin and methiocarb resistance in field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.*, 62: 1129—1137.

Robb KL, Newman J, Virzi JK, Parrella MP, 1995. Insecticide resistance in western flower thrips// Parker BL, Skinner M, Lewis T (eds.). Thrips Biology and Management. Plenum Press, New York. 341—346.

Stumpf CF, Kennedy GG, 2007. Effects of tomato spotted wilt virus isolates, host plants, and temperature on survival, size, and development time of *Frankliniella occidentalis*. *Entomol. Exp. Appl.*, 123: 139—147.

Tommasini MG, Maini S, 1995. *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and o ornamental crops in Europe//Loomans AJM, Van Lentern J C, Tommasini MG, Maini S, Riudavets J (eds.). Biological Control of Thrips Pests Wageningen Agric. Univ. The Netherlands: Veenman Drukkers, Wageningen. 1—42.

吴青君，徐宝云，张治军，张友军，朱国仁，2007. 京、浙、滇地区植物蓟马种类及其分布调查. 中国植保导刊，(1):32—34.

Zhang SY, Kono S, Murai T, Miyata T, 2008. Mechanisms of resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanopteea: Thripidae). *Insect Science*, 15: 125—132.

Zhang ZJ, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2007. Life history of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripae), on five different vegetable leaves. *J. Appl. Entomol.*, 131(5): 1439—0418.

张友军，吴青君，徐宝云，张治军，朱国仁，2005. 危险外来入侵生物——西花蓟马的分布现状与应急控制技术. 中国植物保护学会第九届全国会员代表大会——2005年学术年会会议论文集“农业生物灾害预防与控制研究”. 126—129.

张友军，吴青君，徐宝云，朱国仁，2003. 危险性外来入侵生物－西花蓟马在北京发生危害. 植物保护，29(4): 58—59.

Zhao G, Liu W, Knowles CO, 1995a. Mechanism conferring resistance of western flower thrips to bendiocarb. *Pestic. Sci.*, 44: 293—297.

Zhao G, Liu W, Knowles CO, 1995b. Fenvalerate resistance mechanisms in western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.*, 88: 531—535.

Zhao G, Liu W, Brown JM, Knowles CO, 1995c. Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.*, 88: 1164—1170.

郅军锐，李景柱，盖海涛，2010. 西花蓟马取食不同豆科蔬菜的实验种群生命表. 昆虫知识，47(2): 313—317.

朱秀娟，张治军，吕要斌，2011. 寄主植物接种番茄斑萎病毒对西花蓟马种群的影响. 昆虫学报，54 (4):425—431.