



作物重要叶螨综合防控技术与示范推广*

洪晓月^{1**} 薛晓峰¹ 王进军² 豆威² 张艳璇³ 陈汉杰⁴ 张金勇⁴
仇贵生⁵ 胡军华⁶ 王少丽⁷ 于丽辰⁸ 沈慧敏⁹ 孙瑞红¹⁰ 郭建军¹¹
吴伟南¹² 郭明昉¹² 张建萍¹³ 陈炳旭¹⁴ 宋子伟¹⁴ 桂连友¹⁵

(1. 南京农业大学 南京 210095; 2. 西南大学 重庆 400716; 3. 福建省农业科学院植物保护研究所 福州 350013; 4. 中国农业科学院郑州果树研究所 郑州 450009; 5. 中国农业科学院果树研究所 兴城 125100; 6. 中国农业科学院柑桔研究所 重庆 400712; 7. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081; 8. 河北省农林科学院昌黎果树研究所 昌黎 066600; 9. 甘肃农业大学 兰州 730070; 10. 山东省果树研究所 泰安 271000; 11. 贵州大学 贵阳 550025; 12. 广东省昆虫研究所 广州 510260; 13. 石河子大学 石河子 832003; 14. 广东省农科院植物保护所 广州 510640; 15. 长江大学 荆州 434023)

摘要 叶螨是一类重要的农业有害生物,近年来,在我国各地危害呈上升趋势,严重制约了粮棉果蔬等产业的可持续健康发展。在公益性行业(农业)科研专项叶螨项目资助下,课题组明确了东北果园、华北果园和北方蔬菜田叶螨种群消长规律,开展了朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 和柑橘全爪螨 *Panonychus citri* (McGregor) 的种群遗传结构研究,在共生菌对叶螨生殖影响方面取得了重要进展,在生物防治和药剂防治方面已取得可喜的成绩,组建了3个叶螨的综合防治技术体系,示范面积共达3万多亩。
关键词 叶螨,朱砂叶螨,二斑叶螨,柑橘全爪螨,种群消长规律,种群遗传结构,寄生菌,综合防控技术,示范推广

Integrated control techniques for spider mites on important crops

HONG Xiao-Yue^{1**} XUE Xiao-Feng¹ WANG Jin-Jun² DOU Wei² ZHANG Yan-Xuan³
CHEN Han-Jie⁴ ZHANG Jin-Yong⁴ QIU Gui-Sheng⁵ HU Jun-Hua⁶ WANG Shao-Li⁷
YU Li-Chen⁸ SHEN Hui-Min⁹ SUN Rui-Hong¹⁰ GUO Jian-Jun¹¹ WU Wei-Nan¹²
GUO Ming-Fang¹² ZHANG Jian-Ping¹³ CHEN Bing-Xu¹⁴ SONG Zi-Wei¹⁴ GUI Lian-You¹⁵

(1. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Southwest University, Chongqing 400716, China; 3. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 4. Zhengzhou Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China; 5. Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, China; 6. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China; 7. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 8. Changli Institute of Pomology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Changli 066600, China; 9. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 10. Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, China; 11. Guizhou University, Guiyang 550025, China; 12. Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 13. Shihezi University, Shihezi 832003, China; 14. Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 15. Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

Abstract Spider mites are important agricultural pests causing significant damage to commercial crops. In recent years, these pests have greatly hampered agricultural development in China. With support from the Chinese Ministry of Agriculture's Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest, we conducted a series of studies of spider

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项“叶螨种群分子遗传结构、繁殖机理及其寄生菌的分布扩散规律研究(3-24)”和“作物叶螨综合防控技术与示范推广(201103020)”。
**项目首席专家和通讯作者, E-mail: xyhong@njau.edu.cn
收稿日期:2012-12-06, 接受日期:2012-12-30

mites. Population fluctuations of spider mites were investigated in orchards in the northeastern and northern China, and in vegetable fields in the north. The population structures of the carmine spider mite, the two-spotted spider mite and the citrus red mite were investigated. Important progress has been made in research on the effects of *Wolbachia* and *Cardinium* infection on the fitness of populations of the two-spotted spider mite and the carmine spider mite. Significant advances have also been obtained in bio-control and chemical control of these pests and three integrated control systems established. The total area in which integrated control has been proven effective has now reached 2 000 hm².

Key words spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*, *Tetranychus urticae*, *Panonychus citri*, population fluctuation, population structure, bacteria, integrated control methods, demonstration

叶螨 (spider mite) 属于蛛形纲、蜱螨亚纲、真螨总目、绒螨目、前气门亚目、异气门总股、缝颚螨股、叶螨总科、叶螨科 (*Tetranychidae*), 是一类重要的农业有害生物, 其个体小、繁殖快、适应性强, 是典型的 *r* 对策生物。它们破坏植物正常生理机能, 引起落叶、落蕾、落果, 轻则造成减产, 削弱生长势, 重则失收或造成整株死亡, 是举世公认的难以防治的有害生物。20 世纪 70 年代后, 叶螨上升为果树、蔬菜、农林作物的重要有害生物。目前我国记载的叶螨种类有 100 余种, 全国性或局部严重危害的约 20 多种, 主要的种类包括二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch、朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)、柑橘全爪螨 *Panonychus citri* (McGregor)、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* (Koch)、山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher、截形叶螨 *Tetranychus truncatus* Ehara 和土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* Ugarov et Nikolski 等。近年来, 在我国各地危害呈上升趋势, 几乎所有的农作物都遭受到叶螨的危害。长期以来, 生产中防治叶螨主要采用化学防治的方法, 由于长期大量使用化学杀虫 (螨) 剂, 产生了一系列的负面影响, 如抗药性增强、天敌数量减少、环境污染加重、人类健康受损等, 对食品安全、生态安全造成极大影响, 严重制约了粮棉果蔬等产业的可持续健康发展。

2007 年农业部科教司批准公益性行业 (农业) 科研专项“叶螨种群分子遗传结构、繁殖机理及其寄生菌的分布扩散规律研究”; 2010 年该项目获得滚动资助, 项目名称改为“作物叶螨综合防控技术与示范推广”, 继续由南京农业大学作为项目主持单位, 西南大学、中国农业科学院郑州果树研究所、中国农业科学院果树研究所等 8 家单位作为参加单位, 同时吸纳贵州大学、广东省昆虫所、石河子大学、广东省农科院植保所、长江大学

等作为项目的协作单位。

本项目针对叶螨在当前农业生产上造成的最困难和最迫切需要解决的问题, 开展农作物重要叶螨的综合防控技术及示范推广, 在叶螨的生活习性、发生规律、种群遗传结构、体内共生微生物、化学防治、生物防治、抗性机理等方面取得了较为显著的进展, 并依据这些研究结果构建了叶螨防控技术体系。

1 叶螨生态位与种群消长规律研究

1.1 东北果园叶螨生态位和种群消长规律

在果园生态系内, 二斑叶螨的空间生态位宽度在大部分调查日低于山楂叶螨和苹果全爪螨, 二斑叶螨的为害呈现出一定的聚集性, 且为害的聚集性较山楂叶螨和苹果全爪螨强, 二斑叶螨的生态位宽度增长趋势比山楂叶螨和苹果全爪螨明显, 表明其主动扩散的速度较快, 往往会对果树造成比山楂叶螨和苹果全爪螨更严重的危害。二斑叶螨与山楂叶螨和苹果全爪螨在空间生态位上的重叠值较低, 而山楂叶螨和苹果全爪螨的重叠值则较高。二斑叶螨的时间生态位宽度小于山楂叶螨和苹果全爪螨, 这表明在时间维上山楂叶螨和苹果全爪螨分布比较松散, 而二斑叶螨则呈现一定的聚集性。二斑叶螨在苹果园内出现较早, 前期取食田间杂草, 而后向树上转移、扩散, 进而在果园生态系内形成立体式危害。二斑叶螨具有比山楂叶螨和苹果全爪螨更快的种群增长速度, 加上时间上的聚集性使其为害更具有爆发性。在越冬基数大或前期防控不当的情况下, 二斑叶螨更易造成严重的危害。

对相同条件下 3 种害螨的种间竞争进行研究, 模拟了多种田间害螨发生状况, 验证了害螨混合发生状况下种间竞争的存在, 并明确了竞争条件下的优势种群, 为未来果园内害螨优势种群演

替的预测预报提供了理论依据(闫文涛等,2010)。

1.2 华北果园叶螨种群消长规律

根据 2008—2011 年的生产园叶螨种群结构调查结果,对比 1997—1998 年的历史记录,可以明确看到,二斑叶螨从 20 世纪 90 年代初在北方果园出现,1997—1998 年暴发成灾,2008—2011 年逐渐退出了生产园,优势种类演变为苹果全爪螨。苹果全爪螨以卵越冬,出蛰时间晚于以雌成螨越冬的二斑叶螨和山楂叶螨,此调查结果在华北北部和东北地区果园具有代表性,初步分析这种演变可能是因为以卵越冬并且出蛰较晚的苹果全爪螨对于早春的倒春寒有较强的抵抗能力所致(于丽辰等,未发表数据)。

1.3 北方蔬菜田害螨种群消长规律

明确了北方地区蔬菜叶螨的季节消长动态和发生危害规律,监测了北京地区大棚和露地蔬菜叶螨的种群动态。通常情况下,6—7 月份是蔬菜叶螨的全年发生为害猖獗期,也是蔬菜受害的主要时期。7 月下旬至 8 月,由于高温多雨、空气湿度大和天敌等多种因素的影响,叶螨种群数量会明显下降,一般不再造成为害。个别年份,叶螨会在秋季 9—10 月上中旬危害棚室内的豆类、瓜类和茄子等蔬菜,因此适时监测其发生很重要(王少丽等,2010a)。

与大田相比,温室蔬菜叶螨的发生为害更严重。春季温室蔬菜叶螨种群变动包括初现、上升、高峰和下降 4 个阶段。连续 3 年监测了北京地区蔬菜叶螨的种群消长动态,发现叶螨通常于 5 月份初现,种群数量极低,属零星发生阶段;6 月上旬—6 月中旬,种群数量开始直线上升,进入为害高峰时期,生产上防治应该抓住种群快速上升之前的这段时期,即 5 月底—6 月上中旬,在这段时间及时采取化学防治措施,能够有效压低叶螨种群的数量,并降低其为害(王少丽等,2010a;2010b)。

2 种群遗传结构研究

2.1 二斑叶螨和朱砂叶螨种群遗传结构

选用 TU1、TU11 和 TU35b 这 3 个微卫星位点在二斑叶螨体内成功扩增,扩增结果显示每个位点平均等位基因数 3.7 个,平均多态信息含量(PIC)0.5247,当 $PIC > 0.5$ 时,该位点为高度多

态位点,所以这 3 个位点作为遗传标记进行二斑叶螨种群遗传结构的研究是切实可行的。表征种群遗传多样性的参数指标(N_A 、 N_{AE} 、 H_0 和 H_E 等)在二斑叶螨各个种群中普遍偏低,种群遗传多样性降低。二斑叶螨各个地理种群检测到的私有等位基因占等位基因总数的 27.3%,特有基因型占基因型总数的 54.5%,单态位点数占检测总数的 33%,总样本的基因型多样性远高于各个地理种群的基因型多样性水平,遗传分化指数平均种群间 F_{ST} 值为 0.5695,当 $F_{ST} > 0.25$ 时,种群极度分化。以上结果均说明二斑叶螨各个地理种群之间发生了显著的分化。种群之间遗传分化与地理距离呈现显著的正相关性($P < 0.05$, $R^2 = 0.2594$)(Li *et al.*, 2009)。

朱砂叶螨种群遗传结构的研究结果与二斑叶螨有许多类似的地方,如以总体样本为研究对象均能表现出显著的多态性,然而各个地理种群的遗传多样性水平普遍偏低;种群之间极度分化($F_{ST} > 0.25$),但是却发现许多种群之间遗传分化与地理距离不成比例的例子;从统计上确定遗传分化程度与地理距离之间的相关关系,结果显示虽然地理距离与种群分化的相关系数很低(二斑叶螨 $R^2 = 0.2594$;朱砂叶螨 $R^2 = 0.277$),但是仍然表现出显著的相关性($P < 0.05$)。所以朱砂叶螨种群遗传结构也表现出种群遗传多样性降低和种群之间极度分化的特点。

中国二斑叶螨和朱砂叶螨的种群遗传结构经比较差异显著,主要表现在种群遗传多样性水平不同,朱砂叶螨的总体样本的遗传多样性水平明显高于二斑叶螨,而二斑叶螨各个地理种群的遗传多样性水平却比朱砂叶螨高;种群遗传分化程度不同,朱砂叶螨各个种群之间平均成对 F_{ST} 值远高于二斑叶螨,说明朱砂叶螨种群遗传分化的程度远高于二斑叶螨;将采自同一个省市的二斑叶螨和朱砂叶螨进行成对比较发现,地理间距缩短并没有降低种群之间的遗传分化水平,说明地理隔离并不是朱砂叶螨和二斑叶螨分化的主要原因,生殖隔离也可能造成同域内种群分化;系统发育分析结果显示 7 个二斑叶螨地理种群与 6 个朱砂叶螨地理种群明显聚在不同的分支上(李婷,2008;Li *et al.*, 2009)。

2.2 朱砂叶螨微卫星富集文库的构建及位点开发

通过双重抑制 PCR 的方法构建了朱砂叶螨微卫星富集文库,并成功分离出两条多态性好而且稳定的微卫星序列。结合以前研究开发的 6 条微卫星序列对中国 18 个朱砂叶螨地理种群和 7 个二斑叶螨地理种群进行了多样性及遗传结构分析。结果发现我国各地种群遗传多样性较低,地理种群间高度分化 ($\text{global } F_{\text{ST}} = 0.566; P < 0.0001$),IBD (isolation by distance) 分析结果显示地理距离是引起朱砂叶螨种群分化的重要因素 ($R^2 = 0.1129, P = 0.0070$)。STRUCTURE 软件的贝叶斯聚类分析发现我国朱砂叶螨聚为四支,并与地理学上的分布具有很好的相关性。朱砂叶螨多样性与纬度相关性分析发现朱砂叶螨的种群多样性随着纬度的增加逐渐降低 ($H_E; R^2 = 0.227, F = 4.697, P < 0.001$)。这可能是由于南方的气温较高,每年发生的世代多引起的。实验结果不支持朱砂叶螨与二斑叶螨作为 2 个种,两者之间的分化水平与地理种群间的分化相似。贝叶斯聚类也证实了在 $K = 2$ 时,朱砂叶螨与二斑叶螨不能清晰的划分开。朱砂叶螨与二斑叶螨体色分化,可能是生物在适应不同生境,减少种内竞争而迅速进化出来的 (Sun *et al.*, 2012)。

2.3 利用线粒体 COI 分析柑橘全爪螨不同地理种群的遗传结构

以线粒体 COI 基因作为分子遗传标记,对采自四川眉山 (MS)、内江 (NJ)、蒲江 (PJ)、重庆北碚 (BB)、江津 (JJ)、万州 (WZ)、湖北丹江口 (DJK)、湖南宜章 (HN)、广东博罗 (BL)、福建福州 (FJ)、永春 (YC)、云南瑞丽 (RL)、玉溪 (YX)、江西赣州 (JX) 和贵州兴义 (XY) 15 个不同地理种群的 121 头柑橘全爪螨进行了种群遗传结构分析。结果显示,柑橘全爪螨 COI 基因 AT 丰富 (74.7%),在 31 个变异位点中 24 个是简约信息位点,总共检测到 22 个单倍型。除了北碚,江津,博罗和福州 4 个种群仅有 1 个单倍型外,其余种群均有多个单倍型,其中赣州种群拥有最多的单倍型,为 7 个。除了丹江口和玉溪种群外,单倍型 H7 为其它所有种群共有。其余单倍型频率均较低 ($< 5\%$),且大多数均为种群特有单倍型。NJ 单倍型多样性最高,YX 核苷酸多样性最高。AMOVA 分析表明,柑橘全爪螨 4 个 group 存在显著的遗传分化和遗传结构 ($\Phi_{\text{CT}} = 0.383, P < 0.005; \Phi_{\text{ST}} = 0.503, P <$

0.001)。贝叶斯系统发育分析表明,柑橘全爪螨 22 个单倍型可分为 2 个支系,来自日本的柑橘全爪螨及丹桂全爪螨 *Panonychus osmanthi* Ehara *et* Gotoh 包含在支系 II 中。因此,中国柑橘全爪螨可能不是单一一种,而是复合种 (Yuan *et al.*, 2010b)。

2.4 柑橘全爪螨全线粒体基因组研究

柑橘全爪螨线粒体基因组是一个典型的环状双链 DNA 分子,总长 13 077 bp。该线粒体基因与二斑叶螨 (13 103 bp)、苹果全爪螨 (13 115 bp) 和朱砂叶螨 (13 092 bp) 的大小相似,但远小于其它蜱肢动物。尽管该基因组是目前已测节肢动物线粒体基因组中最小的一个,但经典后生动物线粒体基因组所包含的 37 个基因,即 13 个蛋白质编码基因、2 个 rRNA 基因 (rrnL 和 rrnS) 和 22 个 tRNA 基因,均能在该线粒体基因组中找到。其中,J-链 (majority strand) 编码 20 个基因,包括 7 个蛋白质编码基因,2 个 rRNA 基因和 11 个 tRNA 基因,其余 17 个基因则由 N-链编码 (Yuan *et al.*, 2010a)。

3 寄生菌研究

3.1 二斑叶螨和朱砂叶螨寄生菌检测情况

近 10 年间,每年对我国各地的二斑叶螨 (红色型和绿色型) 各个地理种群进行了采集,从各地理种群中随机挑取 40 头雌成螨进行 PCR 扩增,检测 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 的感染情况。结果发现实验的二斑叶螨种群都感染了 *Wolbachia*,并且感染率较高,但均不感染 *Cardinium*,朱砂叶螨种群也都感染了 *Wolbachia*,只有部分种群感染 *Cardinium*,其中云南玉龙种群 *Cardinium* 感染率达到 100%。与五六年前检测的自然种群感染情况相比较,*Wolbachia* 的感染率普遍升高。

3.2 *Wolbachia* 对中国二斑叶螨生殖的影响

根据中国区域的划分以及 *Wolbachia* 的感染情况,选择以二斑叶螨辽宁兴城 (LN)、江苏徐州 (JS)、上海闵行 (SH) 和湖南长沙 (HN) 4 个地理种群为实验材料,通过孤雌回交和四环素处理分别筛选完全感染和完全不感染 *Wolbachia* 的品系后进行杂交实验。研究发现:上海闵行 (SH) 和湖南长沙 (HN) 体内的 *Wolbachia* 能诱导高强度的胞质不亲和 (CI); 辽宁兴城 (LN) 体内的 *Wolbachia* 不仅能诱导中等强度 CI,而且能诱导杂交失败

(hybrid breakdown); 江苏徐州(JS)体内的 *Wolbachia* 既不能诱导 CI, 又不能诱导杂交失败。第一次发现 *Wolbachia* 诱导的 CI 不仅表现为胚胎的大量死亡以及性比的偏离, 还表现为后代在幼虫期的死亡。对于不亲和的杂交, CI 的程度会随着回交有所增强。而感染 *Wolbachia* 的父本或母本杂交所产生的后代均具有生殖能力(Xie *et al.*, 2011)。

Wolbachia 在不同中国二斑叶螨各种群中 CI 表达的差异较大。研究发现 1、3、5、7 日龄的雄螨诱导的 CI 的程度没有差异, 表明雄螨日龄对我国二斑叶螨体内 *Wolbachia* 诱导 CI 的能力没有影响。二斑叶螨分别放在 20℃ 的低温、25℃ 的适温和 30℃ 的高温条件下饲养时, *Wolbachia* 诱导 CI 的能力也没有任何变化, 表明温度对我国二斑叶螨体内 *Wolbachia* 诱导 CI 的能力也没有影响。对我国二斑叶螨 4 个地理种群感染品系的线粒体 DNA COI 基因序列测定发现, 4 个地理种群的 COI 序列完全一致, *Wolbachia* 降低了寄主的多态性, 同时还表明 4 个地理种群的亲缘关系较近。对 *Wolbachia* 的 *wsp* 基因序列测定发现, 4 个地理种群感染的 *Wolbachia* 都属于 B 组 Ori 亚群。辽宁兴城、上海闵行和湖南长沙种群的 *Wolbachia* 的 *wsp* 基因序列相同, CI 程度的差异主要是由寄主的遗传背景的差异造成的。而江苏徐州种群内 *Wolbachia* 与其他 3 个种群有 99% 的相似度, 该种群中 *Wolbachia* 不能诱导 CI 则可能是 *Wolbachia* 株系与寄主的遗传背景共同作用的结果(Xie *et al.*, 2011)。

3.3 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 共同影响叶螨生殖情况

Wolbachia 和 *Cardinium* 都是能够诱导胞质不亲和(CI)的寄生菌。我们对它们分别以及共同对寄主生殖影响知之甚少。通过遗传杂交和定量 PCR 研究 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 的互作, 探索 2 种寄生菌是否存在竞争或协同互利共生的关系。对 *Wolbachia* 的 *wsp* 基因序列测定发现, 江苏镇江和陕西西安种群的 *Wolbachia* 序列完全一致, 属于 B 组的 Con 亚群, 而云南玉龙种群属于 B 组 Ori 亚群。3 个地理种群的 *Cardinium* 的相似度在 97%~99% 之间。杂交结果显示 3 个地理种群的双感染品系均能诱导 CI, 其中云南玉龙种群的 CI 程度

最强。单感染 *Wolbachia* 在云南玉龙种群不能诱导 CI, 在其他 2 个种群诱导较弱的 CI。对 *Cardinium* 的研究发现, 江苏镇江和陕西西安种群的 *Cardinium* 诱导的高强度 CI, CI 程度与双感染品系间没有差异。而云南玉龙种群的 *Cardinium* 诱导中等强度的 CI, 并且 CI 的强度显著低于双感染品系, 由此我们推测云南种群中的 *Wolbachia* 虽不能诱导 CI, 但可能对 *Cardinium* 有促进作用。对江苏镇江种群的深入研究发现, *Wolbachia* 和 *Cardinium* 在江苏种群中彼此对生殖调控能力没有影响, 对菌量既有促进又有抑制。首次研究了雄螨日龄对 *Cardinium* 诱导的 CI 的程度影响, 发现雄螨日龄与 *Cardinium* 诱导的 CI 的程度成反比。雄螨日龄对 *Wolbachia* 诱导的 CI 没有影响。本研究还发现单感染和双感染品系都能提高寄主的寿命, 而双感染品系还能缩短发育历期, 从而提高寄主的适合度(谢蓉蓉, 2009; Xie *et al.*, 2010)。

4 害螨抗药性研究

采用 FAO 推荐的玻片浸渍法, 对重庆、四川等地的柑橘全爪螨进行了连续 6 年(2005—2010)的抗药性监测, 监测药剂包括炔螨特、双甲脒、哒螨酮、阿维菌素、丁醚脲、三唑锡、甲氰菊酯和马拉硫磷 8 种常用杀螨剂。抗性监测结果显示, 柑橘全爪螨不同地理种群对不同杀螨剂的敏感性不同, 这可能与柑橘全爪螨不同地理种群遗传差异相关, 与各个地区用药水平的不同密切相关。柑橘全爪螨不同年度对杀螨剂的敏感性不同, 表明柑橘全爪螨对不同杀螨剂的抗性水平处在动态变化之中, 柑橘全爪螨取食不同柑橘寄主后对杀螨剂的敏感性不同, 对寄主具有高的局部适应性, 在制定防治策略时, 应针对不同寄主有选择地施用不同的杀螨剂(Ran *et al.*, 2009; 刘永华等, 2010)。

5 生物防治和药剂防治

5.1 塔六点蓟马利用

通过对塔六点蓟马食物筛选和繁殖技术研究, 能够在短时间内大量繁殖塔六点蓟马。制订了人工饲养技术规程, 包括从大量饲养、采收贮藏、运输方式等, 基本解决了各环节的关键技术。在网室观察了释放不同密度下天敌数量对山楂叶螨的控制能力。由于叶螨有很强的内禀增长力, 药剂喷洒不可能将其灭绝, 如果没有天敌的控制,

喷药一定时间后叶螨总会重新上升危害,只好再次重复喷药。在目前生产上单纯依赖杀螨剂的防治策略下,天敌种群被压得极低,控螨作用被人为弱化。本研究提出的控螨新技术路线:通过释放叶螨天敌塔六点蓟马,人为提高益害比,待其定居扩繁后喷洒少量对其安全的杀螨剂,进一步提高益害比,使叶螨常年处于塔六点蓟马的有效控制下,达到螨害防控的真正高效化目的(涂洪涛等,2009)。

5.2 胡瓜钝绥螨利用

在福建、广东、广西、新疆、浙江、湖南、湖北、江西、河北、河南、海南、云南、陕西、江苏、山西、四川、辽宁、山东、贵州、甘肃、20个省200多个县市及北京市、上海市、重庆市、天津市100多万亩棉花、柑橘、苹果、板栗、枣、梨、啤酒花、茶叶、蔬菜等作物上应用胡瓜钝绥螨。防治效果平均80%以上,表明胡瓜钝绥螨生态适应性广,可作为良好的天敌广泛地应用在我国农田、果园、蔬菜园、森林以控制害螨的为害。证明了胡瓜钝绥螨对各果区的生态性环境有较强的适应性。

5.3 蔬菜叶螨防治药剂筛选

通过室内生物测定,筛选出对蔬菜朱砂叶螨毒力最高的是阿维菌素,其 LC_{50} 为0.0007 mg/L;甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)和氧苦内脂(清源保)毒力也很高, LC_{50} 分别为0.0130 mg/L和0.1461 mg/L;哒螨灵和虫螨腈的毒力活性次之, LC_{50} 分别为21.3122 mg/L和34.8519 mg/L;而专性杀螨剂克螨特和噻螨酮对其雌成螨毒性较差。同时进行的田间防效试验结果表明阿维菌素、甲维盐、氧苦·内脂和高效氟氯氰菊酯及杀螨剂克螨特和噻螨酮防治效果较好。综合考虑药剂的特性及害虫混合发生的特点,推荐阿维菌素、甲维盐、氧苦·内脂是目前北京地区蔬菜叶螨防治的首选药剂,可同时兼治其它种害虫,叶螨发生严重时,可轮换使用其它几种效果较好的杀虫剂,如噻螨酮等。同时室内生物测定试验筛选出噻螨酮对叶螨卵的毒杀活性最强,其次是阿维菌素。田间叶螨种群发生量高时,先后选择1.8%阿维菌素乳油2500倍液和5%噻螨酮乳油2000倍液进行喷施防治效果较好,一周后效果可达85%以上(王少丽等,2009,2010c)。

5.4 植物源农药筛选

对15科31种植物的乙醇提取物进行杀螨生物活性的筛选,结果表明,多种植物对柑桔红蜘蛛有很高的触杀活性,其中,牛蒡、藁本、小茴香、苦参4种植物的活性较高,对雌成螨的杀螨校正死亡率达到85%以上, LC_{50} 值分别为0.01732、0.1385、0.0658、0.9789、0.0748 g/L;小茴香还具有很好的杀卵活性。牛蒡、藁本、小茴香、苦参、草乌分别属于菊科、伞形科、豆科、毛茛科4个科。伞形科的杀虫活性近些年逐渐引起关注,在实验中也发现伞形科几种植物具有很好的杀螨效果。其中,小茴香的活性较高,校正死亡率大于90%, LC_{50} 值仅为0.0658 g/L;藁本、前胡、羌活的杀虫活性处于中等,校正死亡率为70%~90%, LC_{50} 值分别为0.1385、3.2505、0.0658 g/L。4种植物均显示出较高的杀螨活性,可与哒螨灵等常用杀螨剂媲美。且小茴香的粗提物也表现出很好的杀卵活性, LC_{50} 值仅为144.1805 g/L。对这几种植物提取物的活性成分做了进一步分离纯化,菊科植物牛蒡的杀虫活性成分确定为脂肪酸族类,与现行的化学杀螨剂成分有很大的不同。试验中发现牛蒡具有较高的杀螨活性,死亡成虫表现出胃毒剂、神经毒剂所特有的症状。藁本乙醇提取物对柑橘全爪螨成螨的触杀活性最强,对柑橘全爪螨成螨产卵抑制作用也最好,抑制率达到47.15%所需浓度是0.165 mg/mL。柑橘全爪螨的高产卵量一直是防治的难题,牛蒡的这种活性恰能很好的解决这种问题。对其进行深入研究将是植物源杀螨剂在成分、作用方式等方面的一个突破(马丽娜,2009a,2009b,2010;胡军华等,2010)。

6 叶螨的综合防治技术体系构建与示范推广

6.1 组建了一套适合于华北地区的果园害螨生态调控综合防控技术

该体系已在河北省秦皇岛和唐山等地区大面积推广。该项技术的推广应用产生了重大的经济效益。由于减少了打药次数而大大减轻了农民的田间劳动强度,减少了农药对果品、环境以及劳动者的污染,有助于生产的可持续发展和人类生存环境的优化,社会效益显著。随着技术的推广和应用,产地实现了生产环节的安全,果品质量将跃升为绿色食品水平,对于农民增收、环境的改善均将产生重大的经济效益,推广前景十分广

泛。

6.2 组建了一套适合于西北地区的果园害螨生态调控综合防控技术

在甘肃省静宁县和天水市开展试点工作,应用害螨生态调控技术有效控制了苹果害螨的为害,减少了化学杀螨剂的使用次数,平均每年减少施药 7 次,节俭了农民的投入,提高了苹果的产量和品质,保护了天敌资源。

6.3 建立一套以生态调控为主的柑橘叶螨综合治理系统

从 2007 年开始,在忠县 333 hm² 柑橘园开展了以叶螨为主的病虫害综合防治技术示范。旨在掌握三峡库区柑橘园病虫害发生发展规律,在预测预报基础上制订综合治理措施,做到对病虫害进行适时防治。利用本综合防治技术的示范作用,带动果农使用低毒低残留药剂,减少残留和污染,使其不再打“保险药”,从而节约生产成本;保护自然界有益生物,充分发挥其控害效能,减轻对环境的破坏,保持生物多样性,维护生态平衡,保证柑橘果实达到无公害的要求。

7 展望

近年来完成了二斑叶螨种群遗传结构研究,明确了叶螨体内寄生菌对寄主繁殖的影响机理,阐明了不同地区果园和蔬菜田害螨生态位和种群消长规律;实现了叶螨天敌塔六点蓟马和胡瓜钝绥螨工厂化生产;开展了叶螨抗性监测,筛选了高效、低毒、低残留的化学杀螨剂,研制开发了 4 种植物源杀螨剂和阻隔涂抹剂;组建了叶螨综合防控技术体系;制定了 4 项地方标准和 1 项农业行业标准。项目与苹果、柑橘、大宗蔬菜等产业技术体系衔接紧密。

未来将以在果园、蔬菜田、大田作物上发生危害比较严重的重要害螨,如二斑叶螨、朱砂叶螨、柑橘全爪螨、山楂叶螨、苹果全爪螨、截形叶螨、土耳其斯坦叶螨等为主要研究对象,通过对叶螨种群动态、繁殖机理、抗药性分子机制、种群遗传结构等进一步研究,针对叶螨防控关键技术进行攻关,并对相关技术进行整合集成,形成针对不同产业、不同生态区域完善的叶螨综合防控技术体系,并进行大面积示范推广,建立稳定的叶螨防控技术平台和推广平台。

参考文献 (References)

- Li T, Chen XL, Hong XY, 2009. Population genetic structure of *Tetranychus urticae* and its sibling species *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) in China as inferred from microsatellite data. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 102 (4):674–683.
- Ran C, Chen Y, Wang JJ, 2009. Susceptibility and carboxylesterase activity of five field populations of *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) to acaricides. *Internat. J. Acarol.*, 35(2):115–121.
- Sun JT, Lian CL, Navajas M, Hong XY, 2012. Microsatellites reveal a strong subdivision of genetic structure in Chinese populations of the mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *BMC Genet.*, 13:8.
- Xie RR, Chen XL, Hong XY, 2011. Variable fitness and reproductive effects of *Wolbachia* infection in populations of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch in China. *Appl. Entomol. Zool.*, 46(1):95–102.
- Xie RR, Zhou LL, Zhao ZJ, Hong XY, 2010. Male age influences the strength of *Cardinium*-induced cytoplasmic incompatibility expression in the carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus*. *Appl. Entomol. Zool.*, 45(3):417–423.
- Yuan ML, Wei DD, Wang BJ, Dou W, Wang JJ, 2010a. The complete mitochondrial genome of the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae): high genome rearrangement and extremely truncated tRNAs. *BMC Genomics*, 11:597.
- Yuan ML, Wei DD, Zhang K, Gao YZ, Liu YH, Wang BJ, Wang JJ, 2010b. Genetic diversity and population structure of the citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae), in China based on mitochondrial COI gene sequences. *J. Econ. Entomol.*, 130(6):2204–2213.
- 胡军华, 马丽娜, 冉春, 李鸿筠, 姚廷山, 刘浩强, 蔡锦娥, 雷慧德, 2010. 藁本提取物杀桔全爪螨活性研究. *西南农业学报*, 23(2):405–409.
- 李婷, 2008. 基于微卫星分子标记的二斑叶螨和朱砂叶螨种群遗传结构研究. 硕士学位论文. 南京:南京农业大学.
- 刘永华, 蒋红波, 袁明龙, 樊钰虎, 杨丽红, 陈静, 王进军, 2010. 柑橘全爪螨对 4 种杀螨剂的抗性监测及增效作用. *果树学报*, 27(4):570–574.
- 马丽娜, 田成旺, 张铁军, 张丽娟, 徐晓宏, 2010. 獐牙菜属植物中环烯醚萜类成分及其药理作用研究进展. *中草药*, 39(5):790–795.

- 马丽娜, 胡军华, 冉春, 李鸿筠, 刘好强, 姚廷山, 贺磊, 雷慧德, 2009a. 十种伞形科中草药乙醇提取物的杀螨活性评价. 中国生物防治, 25(增1):40-44.
- 马丽娜, 胡军华, 冉春, 李鸿筠, 刘浩强, 姚廷山, 贺磊, 雷慧德, 2009b. 31 种中草药提取物对柑橘全爪螨的杀螨活性. 植物保护, 35(3):70-73.
- 涂洪涛, 张金勇, 陈汉杰, 郭小辉, 李元朝, 2009. 12 种杀螨剂对山楂叶螨防效评价及其对天敌塔六点蓟马的影响. 环境昆虫学报, 31(3):213-218.
- 王少丽, 王然, 张友军, 徐宝云, 2009. 11 种常用药剂对蔬菜朱砂叶螨的室内毒力测定. 中国农学通报, 25(24):386-388.
- 王少丽, 王然, 张友军, 徐宝云, 吴青君, 2010c. 不同杀虫剂对蔬菜叶螨的田间防效评价. 中国蔬菜, 4:70-74.
- 王少丽, 张友军, 秦悦, 朱国仁, 2010a. 北京地区朱砂叶螨在蔬菜集约化栽培下的种群动态. 昆虫知识, 47(1):72-75.
- 王少丽, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2010b. 茄子叶螨的种群消长动态及阿维菌素的防治研究. 植物保护, 36(5):141-144.
- 谢蓉蓉, 2009. 共生菌 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 对中国二斑叶螨和朱砂叶螨生殖的影响. 博士学位论文. 南京:南京农业大学.
- 闫文涛, 仇贵生, 周玉书, 张怀江, 张平, 刘池林, 郑运城, 2010. 苹果园 3 种害螨的种间效应研究. 果树学报, 27(5):815-818.