

温室害虫防治研究进展与展望^{*}

张志勇^{**}

(北京农学院, 北京 102206)

摘 要 本文从温室害虫防治实践角度, 对近 20 年来温室害虫研究进行了综述, 主要包括: 温室害虫种类与鉴定、重要害虫基础生物学研究、温室害虫共生微生物研究等温室害虫基础研究成果; 从农业、物理、化学、生物等防治途径综述了温室害虫防治技术的主要进展。从加强植物检疫、重视温室内外害虫辗转规律研究、新型生防产品研发与应用、组合技术方案研发与应用、智慧温室害虫防控技术研发与应用及诱集及天敌庇护植物应用等方面进行了展望。

关键词 温室害虫; 防治; 进展; 展望

Advances in pest control in greenhouses

ZHANG Zhi-Yong^{**}

(Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract This paper reviews advances over the past twenty years in the control of pests in greenhouses, including pest species and their identification, the basic biology of important pests, symbiotic microorganisms and control techniques. Future prospects for combining plant quarantine, the transfer of pests in and out of greenhouses, new biological control products, trapping methods and creating and maintaining habitat for biological control agents, are discussed.

Key words greenhouse pest; control; achievements; prospects

温室生产在我国目前已达到 205.8 万 hm^2 , 其形式以大棚、日光温室和联栋温室为主(中国农业规划网, <http://www.agriplan.cn/industry>), 其装备从简单防虫网到智能化的温湿度和光照控制系统, 已成为我国北方地区观赏植物、花卉及蔬菜等高附加值作物周年生产的主要方式。温室内温湿条件适宜, 缺少天敌控制, 为害虫的发生提供了一个良好的、稳定的环境, 致使温室害虫的发生往往比露地更快、危害更严重。常见的温室害虫(Greenhouse pests)有蚜虫、粉虱、蓟马、潜叶蝇、叶螨、介壳虫等, 此外蛴螬、蜗牛、菌蚊、摇蚊等局部发生也很严重。温室内发生的蚜虫、蓟马和粉虱等害虫可以传播植物病毒病, 导致比自身虫害更为严重的病害损失。近 20 年来, 随着我国经济建设的发展, 我国温室害虫的

研究取得了长足进展, 在许多领域获得了举世瞩目的成就。本文从害虫防治角度出发, 综述了近 20 年来温室害虫的研究进展, 以飨读者。

1 主要温室害虫基础研究

1.1 温室害虫的种类与鉴定

温室害虫种类普遍体型较小, 近缘种经常混合发生, 种群遗传背景复杂。王珊珊(2010)对北京地区温室蚜虫进行了调查, 将北京温室蚜虫从 20 世纪 80 年代的 5 科 14 属 19 种增加到 6 科 38 属 67 种, 发现 3 个新记录种, 其中有 2 个中国大陆新记录种。温室发生的螨类害虫主要有危害叶部的叶螨(Tetranychids)、细须螨(Tenuipalpids)和跗线螨(Tarsonemids), 还有危害球茎及根部

^{*}资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划课题(2017YFD0200307)

^{**}通讯作者 Corresponding author, E-mail: zzy@bua.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-06-07; 接受日期 Accepted: 2019-07-10

的粉蛾(Acarids)等。其中以二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 发生普遍、危害较重(陈艳, 2004; Dhooia, 2016)。Reitz 等(2011)明确了温室有害蓟马主要是花蓟马 *Frankliniella intonsa* (Trybom)、西花蓟马 *F. occidentalis* (Pergande)、广肩网纹蓟马 *Heliothrips haemorrhodalis*、美洲棘蓟马 *Echinotrips americanus* Morgan、茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis* Hood、棕榈蓟马 *Thrips palmi* Karny 和烟蓟马 *T. tabaci* 等。生产中褚栋等(2008)建立了快速区分烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和温室白粉虱 *Aleurodes vaporariorum* (Westwood) 的复眼镜检法。

分子标记技术的应用是近 20 年来温室害虫鉴定发展最为迅速的领域之一。新研发的分子标记技术很多,例如,利用 SCAR 标记技术进行粉虱鉴定(褚栋等, 2004; 王金娜等, 2012); 应用于斑潜蝇鉴定的有 PCR-RFLP 分子标记(王帅宇等, 2011)、SS-PCR 技术(张桂芬等, 2012)和 DNA 条形码技术(郭伟, 2013); 在叶螨鉴定中应用的有微卫星标记(Li *et al.*, 2009)、RT-PCR-mRNA (Yang *et al.*, 2015)、RFLP 技术(崔玉楠等, 2013)和 RAPD 技术(王少丽等, 2013)。值得指出的是,在温室害虫及其天敌的鉴定中分子技术与形态学、行为学等特征结合可以产生许多新的信息和结果。Liu 等(2012)通过归纳烟粉虱遗传学、行为学等研究结果,比较其不同生物型间的繁殖不亲和性(Reproductive incompatibility)、生殖隔离(Reproductive isolation)等情况,认为烟粉虱是由 28 个以上形态上不可区分的“物种”组成的复合体。Wainaina 等(2018)的研究表明,不同地区的温室白粉虱存在一定的遗传差异。Rebijith 等(2012)分析了印度 21 个棕榈树蓟马群的 COI 基因差异,并与 Genbank 中其他国家棕榈蓟马的序列比对,认为棕榈蓟马不是一个单一的世界性和多食性物种。Dong 等(2018a)利用 DNA 条形码识别鉴定温室瓜蚜寄生蜂 14 种(隶属于 7 科 13 属),认为虽然 DNA 条形码证实了形态学鉴定,但在线数据库提供的分类信息存在不一致性和模糊性,建议基于 DNA 条码的物种鉴定应该同时使用 COI 和其

他基因。

1.2 重要温室害虫基础生物学

自 20 世纪 90 年代中后期,烟粉虱在我国为害逐年加重,2000 年前后,在河北局部甚至导致许多大棚毁种(张芝利, 2000)。随后研究表明,造成危害的烟粉虱主要是入侵我国的 B 型烟粉虱(罗晨等, 2002),并且 B 型烟粉虱比土著烟粉虱存在“非对称交配互作”、与双生病毒互作形成显著繁殖优势,驱动 B 型烟粉虱在我国乃至其他国家或地区取代了土著烟粉虱种群(Liu *et al.*, 2007; Jiu *et al.*, 2007)。万方浩等(2009)梳理了 B 型烟粉虱入侵种群在我国的遗传分化、快速演变机制和分子生态适应机制,为探明烟粉虱种群形成与扩张以及该虫生态控制途径和持续治理策略提供了科学支撑。国内诸多研究表明,自 2003 年在我国云南首次发现外来入侵的 Q 型烟粉虱后,多数地区 B 型烟粉虱逐渐被 Q 型烟粉虱取代(Chu *et al.*, 2006; Teng *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2017)。导致这种现象的主要原因与 B 型烟粉虱对新烟碱类(吡虫啉、噻虫嗪和啉虫脒)比较敏感、而 Q 型烟粉虱表现出中到高的抗性有关(Luo *et al.*, 2010)。进一步比较线粒体单倍型与微卫星等位基因发现,我国 Q 型(隐种)烟粉虱的来源种群起源于西地中海地区(Chu *et al.*, 2011); 同时也有学者发现番茄黄化曲叶病毒可通过直接和间接方式修饰烟粉虱行为,加大了 Q 型(隐种)的取食行为优势,可能是田间 B/Q 隐种竞争取代过程中伴随病毒病大发生的一个重要的内在机制(Pan *et al.*, 2012a, 2012b; Liu *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2013)。褚栋和张友军(2018)发现在 Q 型(隐种)烟粉虱扩散伴随着番茄黄化曲叶病毒(TYLCV)病的暴发流行,传播植物病毒(如黄化曲叶病毒、番茄褪绿病毒)成为了烟粉虱重要的为害方式。实践中崔洪莹和戈峰(2011)发现华北地区 5 月中上旬为烟粉虱从大棚向外扩散高峰期,大棚为露地的重要虫源地。

美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 自 20 世纪末侵

入我国之后,随着日光温室的推广由南向北迅速蔓延,给温室生产造成了巨大损失,国内对该虫迅速展开了系统全面研究,明确了其成虫羽化、飞行、交配产卵、幼虫发育历期、入土化蛹等生物学习性(刘培延等,2000);在山东、山西、河南和北京等地露地自然条件下不能越冬,在温室、大棚等保护地内可持续危害并越冬,全年温室内外交替发生 10-13 代,世代重叠严重。内蒙古乌兰浩特市是我国已报道有美洲斑潜蝇地理分布最北的城市(成卫宁等,2004)。

叶螨是温室生产中重要害虫,王少丽等(2010)报道,在北京地区蔬菜栽培大棚中,5 月底-6 月上中旬是叶螨种群防控的关键时期。Stavrínides 等(2010)报道,温室内叶螨 *Tetranychus pacificus* McGregor 种群峰值密度随叶温高于 31 的频率增加而显著增加,说明该叶螨在高温、相对干旱、水势下降的叶片上发生严重。

温室蚜虫与天敌的关系是温室蚜虫生物学基础相关研究焦点。Dong 等(2018b, 2018c)利用分子标记 mtDNA CO (1 563 bp long) 对北京地区温室发生的瓜蚜 *Aphis gossypii* Glover 及室外锦葵科、葫芦科和蔷薇科等 8 种植物蚜虫种群的遗传多样性进行了分析,证明在以温室西瓜为主的栽培体系中,蚜虫可能从木槿迁移到西瓜,然后从西瓜扩散到其他次生寄主植物。景观特征强烈影响昆虫种群的遗传多样性和分布,但地理距离和遗传距离没有显著相关,不是迁移的障碍。

Liang 等(2010)报道,西花蓟马在温室内的飞行活动,白天以 8:00-10:00、14:00-16:00 之间比较活跃。在实验室控制条件下,光强在 4 000-6 000 lx,气温 28 ,相对湿度 70%时为其飞行适宜条件,飞行活性最高。饥饿的蓟马比不饥饿的蓟马更容易飞行在趋光率和避光率较高的单色光及白光刺激下,棕榈蓟马的趋光率随光照度的增大而提高,而避光率则随着光照度的增大而降低(张安盛等,2015)。

国外 Park 等(2010)研究了棕榈蓟马各虫态的发育历期、发育起点温度和有效积温等,建立了发育速率与温度之间的非线性模型,可用于

预测其在田间和温室蔬菜作物中的季节性发生。

蜗牛和蛞蝓近年来在北方温室大棚内局部为害严重。张民照等(2009, 2012)研究条华蜗牛 *Cathaica fasciola* (Draparnaud) 假死习性,证明其假死时间随体重、光照强度和饥饿时间的增加而延长,随温度和取食时间的增加而减少;体重与假死时间呈极显著正相关;翻身时间随体重、光照强度和饥饿时间增加而增加,随温度升高和取食时间增加而减少。在休眠到活动的过渡期,蜗牛的活重随着水的供应而增加。打破休眠所需的水分吸收量与蜗牛的活重成正比。在 5 的水温下,打破休眠的持续时间比在 10-30 的水温下长得多(Zhang *et al.*, 2015)。同时,测试了条华蜗牛对其发生环境中常见的 25 种植物的取食特性,证明其为多食性生物,显著偏食牵牛和生菜(张民照等,2015)。

1.3 温室害虫共生微生物研究

国内对西花蓟马(WFT)与番茄斑萎病毒(TSWV)的互作关系进行了系列研究,鉴定西花蓟马的转录组,分析了 WFT 对 TSWV 感染反应的整体基因表达。结果证明 TSWV 可以调节细胞过程和免疫反应,对西花蓟马没有不利影响(Zhang *et al.*, 2013)。

番茄黄化曲叶病毒病(Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV)是由烟粉虱专性传播的毁灭性双生病毒病,其 CP 蛋白是目前唯一被证实系烟粉虱特异性传播的病毒蛋白(Harrison *et al.*, 2002),随病株唾液韧皮部汁液通过口针进入烟粉虱消化道,经血淋巴循环进入唾液腺;再随着唾液腺分泌的唾液侵染到下一植株体内,引起植物病害(Hogenhout *et al.*, 2008)。双生病毒能否被烟粉虱传播取决于其是否可以成功穿过烟粉虱各个组织直至突破唾液腺屏障。在此过程中,病毒的蛋白会与烟粉虱体内的一些蛋白发生互作,这些互作对病毒的传播可能有利也可能不利(Ohnesorge and Bejarano, 2009)。国内学者通过整合基因组学、转录组学和代谢组学研究证明,病毒感染消耗了萜类物质介导的植物对粉虱的防御,从而形成了烟粉虱-植物病毒之间的互

惠关系 (Luan *et al.*, 2013); 通过阻断网格蛋白 (Clathrin) 介导的内噬作用和内体网络功能 (Endosome network) 证明了网格蛋白在 TYLCV 烟粉虱消化道转移到血淋巴转运中起着重要作用 (Pan *et al.*, 2017)。对番茄、黄瓜、辣椒、茄子、豆角 5 种不同寄主作物上烟粉虱带毒率检测结果表明, 番茄上的烟粉虱带毒率最高, 为 78%, 说明番茄是带毒烟粉虱更喜食的寄主作物 (刘晨等, 2016)。

国内对叶螨及其共生细菌开展了相关研究。Xie 等 (2010) 报道, 朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 雄螨的年龄和共生细菌 *Cardinium* 的密度是影响 *Cardinium* 介导的胞质不溶 (Cytoplasmic incompatibility, CI) 表达的关键因素, 这种影响可能存在一个 *Cardinium* 密度临界水平。Zhang 等 (2013) 认为同一种叶螨可以适应不同的菌株, 同一种 *Wolbachia* 也会感染不同的物种。*Wolbachia* 是垂直和水平传播的。在水平方向上, 传播可能是由寄主植物介导的。朱路雨等 (2012) 证明皮氏叶螨 *Tetranychus piercei* McGregor 广州种群同时双感染 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 后雌螨的平均产卵量显著高于单感染和不感染的雌螨。*Wolbachia* 和 *Cardinium* 的垂直传播模式结果显示, 在卵的不同发育阶段, *Wolbachia* 和 *Cardinium* 主要伴随着营养物质从滋养细胞、中肠、输卵管进入发育中的卵。最近, Xie 等 (2016) 对二斑叶螨 *T. urticae* 与内共生菌 *Wolbachia* 和 *Cardinium* 等共生关系的研究结果表明, *Wolbachia* 导致的 CI 较弱, *Cardinium* 和共感染雄螨表现的 CI 较高; 在共感染螨体内, *Wolbachia* 可抑制 *Cardinium* 的增殖。*Cardinium* 单感染可提高雌螨繁殖力。*Wolbachia* 和 *Cardinium* 的单感染、共感染均有利于寄主螨的存活。

Saurav 等 (2016) 利用多种现代技术首次证实了沃尔巴氏菌 *Wolbachia* B 菌株在棕榈蓟马中的存在。

2 防治方法研究进展

2.1 农业防治

农业防治是温室害虫综合防治的重要基础。

针对入侵害虫西花蓟马在我国部分地区暴发成灾的形势, 国家设立公益性行业科研专项进行探究, 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; 筛选出多种高效的本土天敌昆虫、病原微生物和防治药剂; 明确了北京和云南种群对主要部分化学药剂的抗性和机制; 分别组建了以农业措施为基础的多类型的综合防治技术体系, 并在主要发生区域累计推广面积 2.65 万 hm^2 , 有效控制了西花蓟马的为害和扩散蔓延 (吕要斌等, 2011)。

对于温室白粉虱的防治, 在番茄和黄瓜保护地内间作芹菜均具有显著的防治效果, 驱避效果分别达到 98.0% 和 84.5% (朱培祥等, 2011)。研究表明, 在温室栽培黄瓜中, 不同品种、不同高度和不同时间内的烟粉虱数量有显著差异 (姬秀枝等, 2008)。富含植物精油、挥发性化合物的植物在农业防治技术应用研发中不断受到重视。对多种植物挥发物的研究发现, 植物挥发物对烟粉虱有趋避或引诱作用, 其作用因浓度而发生改变, 作用一致的挥发物复配后不一定能发挥原有作用 (杨苗苗等, 2018)。Koschier 等 (2000, 2002) 发现多种植物的 *p*-茴香醛、芳樟醇、苯甲醛、丁子香酚等精油成分对西花蓟马有引诱作用, 还发现葱蓟马对迷迭香、熏衣草、甘牛至和薄荷精油表现出强拒食反应。此外, 还有研究者发现苯甲酸、茴香酸、香叶醇、橙花醇、芳樟醇和 β -法尼稀等植物挥发物对西花蓟马成虫有较明显的引诱作用 (Kirk and Hamilton, 2004)。

近年来, 已有报道不同品种的温室栽培黄瓜品种对叶螨 (Maleknia *et al.*, 2016) 不同番茄品种对番茄斑潜蝇 *Tuta absoluta* (Rostami *et al.*, 2017) 表现出不同抗性, 表明温室黄瓜和番茄种质资源利用及抗虫育种开始受到了重视; 同时, Bt 基因 Cry1Ac 介导的番茄对番茄斑潜蝇的抗性利用相继展开 (Selale *et al.*, 2017)。

2.2 物理防治

利用害虫的趋光性用粘性色板诱杀害虫是温室重要的措施, 对蚜虫、斑潜蝇、烟粉虱、白

粉虱、蓟马等害虫防治效果显著,其中蓝板和黄板应用较广泛(Gharekhani *et al.*, 2014; Thongjua *et al.*, 2015)。对于蓟马而言,多数人认为蓝色诱集效果好(吴青君等, 2007; 李江涛等, 2008; 肖婷等, 2011),从 18 种颜色中筛选出对西花蓟马最具吸引力的是海蓝色(Mainali *et al.*, 2010; Pizzol *et al.*, 2010)。对于温室白粉虱(Bae, 2015)和番茄栽培中发生的一种木虱(Psyllid)(Hodge *et al.*, 2019),以黄色诱捕器的捕获量最高。

应用中发现,黄板和蓝板悬挂高度均在 20 cm 处诱杀蓟马的效果最好(杜玉宁等, 2015)。采用黄板板面平行于作物行垂直悬挂;规格为 20 cm×25 cm;黄板下端高于作物顶部 20 cm;密度以每 10 m²左右悬挂 1 张黄板,可对斑潜蝇成虫取得最佳的诱集效果(刘士亮等, 2015)。

通过在粘虫色板的表面增加引诱剂而形成一种防治效果明显的新型诱虫板是温室害虫防治中常用措施。Davidson 等(2007)通过在黄色粘虫板上涂抹异烟酸乙酯,对西花蓟马雌虫和雄虫的诱杀效果分别比对照增加 4.5 倍和 5.2 倍。梁兴慧(2010)应用添加缓释增效剂,诱集西花蓟马提高了 7.6 倍,诱集烟蓟马提高了 10.5 倍,克服了诱虫板上的引诱剂易挥发、性价比不高等不足。

杀虫灯在温室害虫防治中应用研究逐渐增多。范凡等(2012)发现西花蓟马趋光率较高的单色光波长为 380、498、524 nm。在人造光源诱杀温室害虫的研究中,人们发现相对放出大量紫外光的光源如蓝光灯、黑光灯、高压汞灯的诱集效果最强;有研究者利用昆虫对紫外光敏感的特点在温室覆盖紫外吸收薄膜,有效控制了西花蓟马等虫害的发生(Raviv and Antignus, 2004; Mutwiwa *et al.*, 2005; Kumar and Poehling, 2006)。Dimitrios 和 Christopher(2007)认为紫外灯对温室白粉虱具有吸引作用;Stukenberg 等(2015)模拟了 LED 灯光对温室白粉虱的影响,发现绿色灯光对温室白粉虱有吸引作用;刘慧莲(2011)报道与黄板相比,LED 黄光诱虫灯诱杀白粉虱的效果较好。

2.3 化学防治

近年来,国内进行了许多防治温室害虫的药剂筛选,认为防治温室粉虱效果较好的有 10% 溴氰虫酰胺、20% 氯氟·噻虫胺、25% 阿克泰水分散粒剂、50% 噻虫啉、吡虫啉(孙元星, 2014)、25% 噻嗪酮·异丙威可湿性粉剂等。防治叶螨效果较好的有 43% 联苯腈酯悬浮剂(高新菊等, 2012; 宫亚军等, 2013)。同一时期,国外对比研究了 8 种醌类化合物对叶螨等的毒性,认为白花丹素(LC₅₀=0.001%)是对抗二斑叶螨的有效化合物,且残留毒素胡桃醌也能减少二斑叶螨的数量(Akhtar *et al.*, 2012)。防治茄瓜蓟马效果较好的有虫螨腈和哒螨灵(梁关生和程东美, 2011)。胡长效(2003)对防治美洲斑潜蝇有效的常规农药和新型农药进行了总结,主要有昆虫生长调节剂灭蝇胺,抗生素类农药阿维菌素类,氨基甲酸酯类扑蚜威、速灭威、灭蚜威、β-西维因,拟除虫菊酯类农药功夫和一些有机磷酸酯类、氨基甲酸酯类与阿维菌素类混剂等。

由于温室的结构和栽培植物的特点,温室害虫防治对施药方法要求较高。结合防治实际,有研究认为利用苦参碱烟剂(1.2% 烟碱·苦参碱)熏蒸是防治温室粉虱的一种十分有效的措施,在虫口密度较大时,适当增加熏蒸次数可有效防控烟粉虱(豆丽萍和豆新社, 2018)。Castle 等(2017)研究了叶面和内吸杀虫剂对粉虱的发生和南瓜黄色矮化失调病毒传输的影响,认为叶面喷药比土壤用药效果更好。Satoshi 等(2018)认为选择性杀虫剂对温室白粉虱的防控效果要好于非选择性杀虫剂。

鉴于温室害虫防治中容易产生抗药性的问题,近年来国内继烟粉虱之后,比较集中地研究了叶螨的抗药性及其相关问题。研究表明,二斑叶螨北京密云、山东潍坊、海南三亚和湖南长沙种群均对阿维菌素产生了极高水平的抗性,抗性倍数分别为 1 526.75 倍、481.00 倍、315.25 倍和 160.75 倍,而北京通县、北京海淀、山西运城和山东泰安种群对阿维菌素的抗性倍数也达 54.38-136.38 倍,处于高抗性水平(刘贻聪等, 2016)。对阿维菌素抗性品系中 γ-氨基丁酸(GABA)

含量显著升高,可能与抗药性的形成相关(刘炎超,2016)。朱砂叶螨甲氰菊酯抗性种群中钠离子通道基因的点突变(F1538I)能在朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗药性中发挥重要作用(Feng *et al.*, 2011); Roditakis 等(2018)研究了欧洲/亚洲地区番茄斑潜蝇的抗药性并分析了化学防治失败风险; Kivett 等(2015)报道,通过杀虫剂轮换使用既能降低成本,又能减轻对西花蓟马种群的选择压力,避免或延缓其抗性发展。

温室害虫中已有利用聚集信息素来防治害虫,近年来新的报道主要集中在棕榈蓟马、西花蓟马和花蓟马的聚集信息素有效分离、鉴定和应用等方面(De Kogel and Van Deventer, 2003; Zhang *et al.*, 2011)。

2.4 天敌及生物防治

2005 年,瑞士钝绥螨 *Amblyseius swirskii* Athias-Henrio 作为生防制剂上市,目前已在 50 多个国家应用。该天敌能同时控制多种温室主要害虫,包括西花蓟马、西方粉虱、白粉虱、烟粉虱和白粉虱以及宽螨、多食跗线螨;该捕食螨可以花粉等为食,容易规模生产,易于人工协助建立种群,并在害虫稀少或发生前在作物上成功定殖(Kutuk and Yigit, 2011; Calvo *et al.*, 2015)。

国内报道防治二斑叶螨效果较好的天敌有胡瓜钝绥螨 *Tetranychus urticae* (邱晓红等, 2018)、异色瓢虫(雷仲仁等, 2016)、东亚小花蝽 *Orius sauteri* (霍捷等, 2011) 等。国外则报道有智利小植绥螨(Opit *et al.*, 2004)、长角蓟马 *Scolothrips longicornis* Priesner、加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 和盲走螨 *Typhlodromus bagdasarjani* Wainstein & Arutunjan (Farazmand *et al.*, 2015)。

东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius) 还是西花蓟马的重要捕食性天敌。温室笼罩试验结果表明,东亚小花蝽显著趋向西花蓟马及由西花蓟马与二斑叶螨同时危害的豆株,而较少趋向西花蓟马单独危害的豆株及健株(霍捷等, 2011)。Messelink 和 Janssen(2014)报道,盲蝽 *Macrolopus pygmaeus* Rambur 和花蝽 *Orius laevigatus* (Fieber)

是两种新应用的天敌昆虫,共同释放控制蓟马和蚜虫的效果明显优于它们各自单独控制的效果。其中 *O. laevigatus* 对蓟马控制效果显著, *M. pygmaeus* 对蚜虫防治效果显著。

释放寄生蜂防治蚜虫、潜叶蝇是温室生物防治重要手段。Beltrà 等(2018)报道在温室中二点瓢虫 *Adalia bipunctata* (L.) 比多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze) 和断带小毛瓢虫 *Scymnus interruptus* Goeze 对青椒上的桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 捕食力强。Prado 等(2015)研究认为,蚜茧蜂 *Aphidius colemani* Viereck 在温室生产系统内的功效可被许多胁迫因素降低,包括生物(植物、蚜虫宿主、其他天敌)和非生物(气候和光照)。未来研究蚜茧蜂的作用以及生物防治蚜虫,需要采用跨学科的系统方法,考虑所有营养水平的植物和小气候的影响。

国内王海鸿等(2011)首次报道了白僵菌的微菌核的培养方法,将微菌核颗粒预混到土壤中能引起西花蓟马土栖阶段的高死亡率,为利用虫生真菌防治土栖昆虫提供了一个新的方法。相继有报道表明白僵菌不同菌株对西花蓟马防效有一定差异(Gao *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013)。Wu 等(2014)评估认为剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 和巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 对温室黄瓜上危害的烟蓟马、花蓟马均有较好的控制作用。

此外,线虫 *Phasmarhabditis hermaphrodita* 已被开发成为一种蛞蝓和蜗牛的生物防治剂。研究发现,蛞蝓能够对试验的寄生性线虫进行避让但不回避死的寄生性线虫或这些活线虫的渗出物(Wynne *et al.*, 2016)。

3 温室害虫防治研究展望

3.1 加强植物检疫

截至 2017 年 6 月,我国进境植物检疫性有害生物名录达 441 种,其中昆虫 148 种,软体动物 7 种。在这些检验对象中,一些蛱虫、软体动物等随着花卉、植物种苗的进口贸易扩大存在着较大的侵入我国的风险,温室很可能成为其繁殖

危害、扩散蔓延到集散地,亟需加强植物检疫工作,并制定高风险检疫对象入侵的应对预案和措施。

3.2 加强温室内外害虫辗转规律研究

我国温室大部分是农业生产用的日光温室和大棚,每年春季开始到深秋季节通常开放式经营。温室内外丰富的连作寄主给温室害虫提供了适宜的周年发生危害的转移桥梁,频繁的使用相对单一的化学农药,致使温室害虫抗药性普遍存在。阻断害虫冬前入侵温室、春季由温室向周边扩散是温室害虫防治的关键措施之一。最近研究表明,欧、亚洲地区番茄斑潜蝇多数种群对温室应用的氯虫酰胺、甲氨基阿维菌素、苯甲酸盐类和多杀菌素等杀虫剂普遍存在抗药性或耐药性,化学防治失败的风险很大。而西班牙的一些种群则对一些农药保持敏感性,与当地制定的综合害虫管理计划有关,该计划包括非化学措施和不同作用方式类别杀虫剂的轮作使用(Roditakis *et al.*, 2017)。针对关键害虫研究其发生辗转规律,在此基础上指导温室周边科学合理的作物布局 and 农药科学使用,不仅有利于保障温室中主要产品的安全生产,对于害虫抗药性克服也显得尤为重要。

3.3 新型生防产品研发与应用

新型害虫生防产品的研发应用几年来方兴未艾。瓢虫、寄生蜂、捕食螨等常规害虫天敌的人工饲养、产品储藏运输相关技术研究亟待加强。继苏云金杆菌之后,昆虫病原线虫共生细菌很有可能成为一种新型的拥有杀虫蛋白基因的微生物。目前,我国传统的昆虫病毒已完成了6种病毒杀虫剂产品注册登记,一些虫生真菌、虫生线虫、植物源杀虫剂产品也已获得登记和生产许可;植物抗性诱导剂等潜在的新型生防产品也已进入中试规模。相关的研究成果值得加强应用技术研究,在温室中示范推广。

3.4 组合技术方案研究与应用

从温室生产特点出发,研究应用温室害虫防治技术具有重要现实意义。多杀菌素、苏云金芽

孢杆菌比赤眼蜂更容易结合栽培措施防治番茄斑潜蝇而获得较好效果(Jamshidnia *et al.*, 2018)。目前温室害虫化学防治从有关单剂应用到混剂及混配药剂的筛选、试验及推广发展都十分迅速。为有效控制害虫、延缓抗药性发生,结合作物栽培,研发应用农药结合蓝板或黄板诱杀、性诱剂结合色板诱杀特定温室害虫的化学、物理防治技术组合已被证明是控制蓟马危害的有效手段(夏西亚等, 2017; 林彩玲等, 2018)。在害螨防治中,有报道释放捕食性天敌结合药剂预处理的防虫网使用可使二斑叶螨等害螨种群密度得以有效控制(Kungu *et al.*, 2019)。

3.5 智慧温室害虫防控技术研发及应用

温室是农业信息技术应用较早的领域,已有多类型专家系统应用于我国不同类型的温室中。温室害虫防控相关技术例如自动害虫识别检测、虫害诊断、综合防治决策及环境调控等已经取得初步成效,必然随着智慧农业的发展产生新的技术研发增长点。已有报道利用光谱技术自动无损探测评估温室辣椒、菜豆叶片上二斑叶螨早期危害(Herrmannet *et al.*, 2015; Maleknia *et al.*, 2016)。

3.6 诱集植物及天敌庇护植物应用

在害虫综合治理中,诱集植物及天敌庇护植物在温室内外合理布局,作为构建害虫综合防治体系的一种有机组成部分,具有节约成本、不污染环境等特点和重要实践价值。通过筛选害虫或天敌的诱集植物、设计布局诱集或天敌庇护植物,提前蓄养天敌,值得大力试验示范和应用。

参考文献 (References)

- Akhtar Y, Isman MB, Lee CH, Lee SG, Lee HS, 2012. Toxicity of quinones against two-spotted spider mite and three species of aphids in laboratory and greenhouse conditions. *Industrial Crops & Products*, 37(1): 536–541.
- Bae SD, Kim HJ, Yoon NY, Lee YH, Park IH, Kang HW, Mainali BP, 2015. Yellow sticky card offers composite attractiveness to western flower thrips and greenhouse whitefly. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(4): 110–113.
- Beltrà A, Wäckers FL, Nedvĕd O, Pekas A, 2018. Predation rate and

- performance of three ladybirds against the green peach aphid *Myzus persicae* in sweet pepper. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(6): 491–499.
- Calvo FJ, Knapp M, Van Houten YM, Hoogerbrugge H, Belda JE, 2015. *Amblyseius swirskii*: what made this predatory mite such a successful biocontrol agent. *Experimental and Applied Acarology*, 65(4): 419–433.
- Castle SJ, Palumbo J, Merten P, Cowden C, Prabhaker N, 2017. Effects of foliar and systemic insecticides on whitefly transmission and incidence of Cucurbit yellow stunting disorder virus. *Pest Management Science*, 73(7): 1462–1472.
- Chen G, Pan HP, Xie W, Wang SL, Wu QJ, Fang Y, Shi XB, Zhang YJ, 2013. Virus infection of a weed increases vector attraction to and vector fitness on the weed. *Scientific Reports*, 3: 2253.
- Chen Y, 2004. Several kinds of flower pest mites and their quarantine importance. *Plant Quarantine*, 18(5): 282–284. [陈艳, 2004. 几种花卉害螨及其检疫重要性. 植物检疫, 18(5): 282–284.]
- Cheng WN, Li XL, Wu JX, Li JJ, Li YP, 2004. Advances in occurrence and control of *Liriomyza sativae*. *Journal of Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology (Natural Science Edition)*, 32(Suppl.): 78–81. [成卫宁, 李修炼, 仵均祥, 李建军, 李怡萍, 2004. 美洲斑潜蝇发生与防治研究进展. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 32(Suppl.): 78–81.]
- Chu D, Gao CS, De Barro PJ, Wan FH, Zhang YJ, 2011. Investigation of the ge-netic diversity of an invasive whitefly In China using both mito-chondrial and nuclear DNA markers. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 467–475.
- Chu D, Wang B, Zhang SH, Tao YL, Liu GX, 2008. Rapid differentiation between *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* adults by microscopic examination of compound eyes. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 138–140. [褚栋, 王斌, 张四海, 陶云荔, 刘国霞, 2008. 一种快速鉴别烟粉虱与温室白粉虱成虫的方法—复眼镜检法. 昆虫知识, 45(1): 138–140.]
- Chu D, Zhang YJ, 2018. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years. *Plant Protection*, 44(5): 51–55. [褚栋, 张友军, 2018. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展. 植物保护, 44(5): 51–55.]
- 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 Medi-terranean region into China on ornamental crops. *Florida Entomologist*, 89(2): 168–174.
- Chu D, Zhang YJ, Cong B, Xu BY, Wu QJ, 2004. Developing sequence characterized amplified regions (SCARs) to identify *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Plant Protection*, 30(6): 27–29. [褚栋, 张友军, 丛斌, 徐宝云, 吴青君, 2004. SCAR 分子标记鉴别温室白粉虱和烟粉虱. 植物保护, 30(6): 27–29.]
- Cui HY, Ge F, 2011. Diffusion of *Bemisia tabaci* in early spring in Beijing and Hebei regions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 38–42. [崔洪莹, 戈峰, 2011. 京冀地区烟粉虱的早春扩散特征. 应用昆虫学报, 48(1): 38–42.]
- Cui YN, Sun JT, Ge C, Yang SX, Xu M, Zhao JY, Hong XY, 2013. Quick identification of Tetranychus spider mites using morphological characters and RFLP technology. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 329–335. [崔玉楠, 孙荆涛, 葛成, 杨思霞, 徐敏, 赵婧妤, 洪晓月, 2013. 基于形态与 RFLP 技术相结合的快速叶螨鉴定法. 应用昆虫学报, 50(2): 329–335.]
- Davidson MM, Butler RC, Winkler S, Teulon DAJ, 2007. Pyridine compounds increase trap capture of *Frankliniella occidentalis* (pergande) in a covered crop. *New Zealand Plant Protection*, 60: 56–60.
- De Kogel WJ, Van Deventer P, 2003. Intraspecific attraction in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*: indications for a male sex pheromone. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 107: 87–89.
- Dhooria MS, 2016. Mite Pests of Greenhouse Crops// Dhooria MS (ed.). *Fundamentals of Applied Acarology*. Singapore: Science+ Business Media, Springer. 307–316.
- Dimitrios D, Christopher C, 2007. Payne. Greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) dispersal under different UV-light environments. *Journal of Economic Entomology*, 100(2): 389–397.
- Dong ZK, Liu S, Zhang ZY, 2018a. Efficacy of using DNA barcoding to identify parasitoid wasps of the melon-cotton aphid (*Aphis gossypii*) in watermelon cropping system. *BioControl*, 63(5): 677–685.
- Dong ZK, Li YF, Liu S, Zhang ZY, 2018b. Genetic diversity of the melon aphid *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) in a diversified vegetable growing area. *Applied Entomology and Zoology*, 53(2): 259–266.
- Dong ZK, Li YF, Zhang ZY, 2018c. Genetic diversity of melon aphids *Aphis gossypii* associated with landscape features. *Ecology and Evolution*, 8(12): 6308–6316.
- Dou LP, Dou XS, 2018. Effect of fumigation with matrine fumigant on controlling whitefly in greenhouse. *Forestry Science and Technology Communication*, (8): 45–46. [豆丽萍, 豆新社, 2018. 苦参碱烟剂熏蒸防治温室粉虱效果初探. 林业科技通讯, (8): 45–46.]
- Du YN, Huang HL, Wang XJ, Bai XJ, Zhang ZS, 2015. The trapping effect of sticky card against greenhouse thrips in different time and space conditions. *North Horticulture*, (12): 100–102. [杜玉宁, 黄慧玲, 王晓菁, 白小军, 张宗山, 2015. 粘虫板在不同时间空间条件下对温室蓟马诱杀作用. 北方园艺, (12):

- 100–102.]
- Fan F, Ren HM, Lv LH, Zhang LP, Wei GS, 2012. Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Acta Ecologica Sinica*, 32(6): 1790–1795. [范凡, 任红敏, 吕利华, 张莉萍, 魏国树, 2012. 光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响. 生态学报, 32(6): 1790–1795.]
- Farazmand A, Fathipour Y, Kamali K, 2015. Control of the spider mite, *Tetranychus urticae*, using phytoseiid and thrips predators under microcosm conditions: single-predator versus combined-predators release. *Systematic & Applied Acarology*, 20(2): 162–170.
- Feng YN, Shu Z, Wei S, Sun W, Li M, Lu WC, He L, 2011. The sodium channel gene in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval): identification and expression analysis of a mutation associated with pyrethroid resistance. *Pest Management Science*, 67(8): 904–912.
- Gao XJ, Zhang ZG, Duan XL, Shen HM, 2012. Resistance selection against clofentezine in *Tetranychus urticae* (Koch) and change of its detoxification enzymes activity. *Chinese Agricultural Science*, 45(7): 1432–1438. [高新菊, 张志刚, 段辛乐, 沈慧敏, 2012. 二斑叶螨抗四螨嗪品系筛选及其解毒酶活力变化. 中国农业科学, 45(7): 1432–1438.]
- Gao YL, Reitz SR, Wang J, Xu XN, Lei ZR, 2012. Potential of a strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) as a biological control agent against western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Biocontrol Science and Technology*, 22: 491–495.
- Gharekhani GH, Ghorbansyahi S, Saber M, Bagheri M, 2014. Influence of the colour and height of sticky traps in attraction of *Thrips tabaci* (Lindeman) (Thysanoptera: Thripidae) and predatory thrips of family Aeolothripidae on garlic, onion and tomato crops. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(18): 2270–2275.
- Gong YJ, Shi BC, Wang ZH, Kang ZJ, Jin GH, Cui WX, Wei SJ, 2013. Toxicity and field control efficacy of the new acaricide bifenazate to the two-spotted mite *Tetranychus urticae* Koch. *Agricultural Chemicals*, 52(3): 225–227. [宫亚军, 石宝才, 王泽华, 康总江, 金桂华, 崔文夏, 魏书军, 2013. 新型杀螨剂-联苯肼酯对二斑叶螨的毒力测定及田间防效. 农药, 52(3): 225–227.]
- Guo W, Zhao WC, Xu Y, Jin YT, Zhu LX, 2013. Methodology comparison between DNA barcoding identification and ELISA detection of *Liriomyza trifolii*. *Journal of Zhejiang Chinese Medical University*, 37(1): 74–78. [郭伟, 赵伟春, 徐阳, 金艳婷, 祝丽欣, 2013. 三叶草斑潜蝇 DNA 条形码鉴定和 ELISA 检测的方法学比较. 浙江中医药大学学报, 37(1): 74–78.]
- Harrison BD, Swanson MM, Fargette D, 2002. Begomovirus coat protein: serology, variation and functions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 60(5): 257–271.
- Herrmann I, Berenstein M, Paz-Kagan T, Sade A, Karnieli A, 2015. Early detection of two-spotted spider mite damage to pepper leaves by spectral means//Stafford JV (ed.). *Precision Agriculture* 15. Wageningen : Wageningen Academic Publishers. 661–666.
- Hodge S, Bennett J, Merfield CN, Hofmann RW, 2019. Effects of sticky trap colour, UV illumination and within-trap variation on tomato potato psyllid captures in glasshouses. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 47: 48–62.
- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE, Redinbaugh MG, 2008. Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 327–359.
- Hu CX, 2003. Research advance in the chemical control of American miner. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 31(3): 502–503, 508. [胡长效, 2003. 美洲斑潜蝇化学防治研究进展. 安徽农业科学, 31(3): 502–503, 508.]
- Huo J, Xu XN, Wang ED, 2011. Orientation of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) to healthy or injured bean plants by western flower thrips and/or two spotted spider mites. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(3): 569–572. [霍捷, 徐学农, 王恩东, 2011. 东亚小花蝽对西花蓟马和/或二斑叶螨危害豆株的定位反应. 应用昆虫学报, 48(3): 569–572.]
- Jamshidnia A, Abdoli S, Farrokhi S, Sadeghi R, 2018. Efficiency of spinosad, *Bacillus thuringiensis* and *Trichogramma brassicae* against the tomato leafminer in greenhouse. *Biocontrol*, 63(5): 619–627.
- Ji XZ, Zhang QW, Yang MS, 2008. Population dynamics and spatial distribution of *Bemisia tabaci* on greenhouse cucumber. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, (1): 14–16. [姬秀枝, 张青文, 杨麦生, 2008. 烟粉虱在温室黄瓜上种群动态和空间分布. 山西农业大学学报(自然科学版), (1): 14–16.]
- Jiu M, Zhou XP, Tong L, Xu J, Yang X, Wan FH, Liu SS, 2007. Vector-virus mutualism accelerates population increase of an invasive whitefly. *PLoS ONE*, 2(1): e182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000182>.
- Kirk WDJ, Hamilton JGC, 2004. Evidence for a male-produced sex pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 30: 167–174.
- Kivett JM, Cloyd RA, Bello NM, 2015. Insecticide rotation programs with entomopathogenic organisms for suppression of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) adult populations under greenhouse conditions. *Journal of Economic Entomology*, 108(4): 1936–1946.
- Koschier EH, Kogel WJD, Visser JH, 2000. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 26(12): 2643–2655.
- Koschier EH, Sedy KA, Novakb J, 2002. Influence of plant volatiles

- on feeding damage caused by the onion thrips, *Thrips tabaci*. *Crop Protection*, 21: 419–425.
- Kumar P, Poehling H, 2006. UV-blocking plastic films and nets influence vectors and virus transmission on greenhouse tomatoes in the humid tropics. *Environmental Entomology*, 35(4): 1069–1082.
- Kungu M, Deletre E, Subramanian S, Komi KMF, Linus G, Zipporah O, Thibaud M, 2019. A new mite IPM strategy: predator avoidance behaviour resulting from the synergetic effects of predator release and acaricide-treated nets. *Pest Management Science*, 75(4): 979–985.
- Kutuk H, Yigit A, 2011. Pre-establishment of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) using *Pinus brutia* (Ten.) (Pinales: Pinaceae) pollen for thrips (Thysanoptera: Thripidae) control in greenhouse peppers. *International Journal of Acarology*, 37: 95–101.
- Lei ZR, Wu SN, Wang HH, 2016. Progresses in biological control of vegetable insect pests in China. *Plant Protection*, 42(1): 1–6. [雷仲仁, 吴圣男, 王海鸿, 2016. 我国蔬菜害虫生物防治研究进展. 植物保护, 42(1): 1–6.]
- Li HR, Pan HP, Tao YL, Zhang YJ, Chu D, 2017. Population genetics of an alien whitefly in China: implications for its dispersal and invasion success. *Scientific Reports*, 7(1): 2228.
- Li JT, Deng JH, Liu ZS, Duan DX, Ding YM, Liu GQ, Xiao C, 2008. The attractiveness of different colors to *Frankliniella occidentalis*. *Plant Quarantine*, 22(6): 360–363. [李江涛, 邓建华, 刘忠善, 段登晓, 丁元明, 刘国琴, 肖春, 2008. 不同颜色色板对西花蓟马的诱集效果比较. 植物检疫, 22(6): 360–363.]
- Li T, Chen XL, Hong XY, 2009. Population genetic structure of *Tetranychus urticae* and its sibling species *Tetranychus cinnabarius* (Acari: Tetranychidae) in China as inferred from microsatellite data. *Annals of the Entomological Society of America*, 102(4): 674–683.
- Liang GS, Cheng DM, 2011. Study on the control effects of 8 insecticides on greenhouse pepino thrips. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(8): 4585–4586. [梁关生, 程东美, 2011. 8 种杀虫剂对温室茄瓜蓟马的防治效果研究. 安徽农业科学, 39(8): 4585–4586.]
- Liang XH, 2010. The diurnal flight activities and tropism of two thrips to host volatile compounds. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [梁兴慧, 2010. 两种蓟马的日活动规律及其对植物挥发物的趋性研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Liang XH, Lei ZR, Wen JZ, Zhu ML, 2010. The diurnal flight activity and influential factors of *Frankliniella occidentalis* in the greenhouse. *Insect Science*, 17(6): 535–541.
- Lin CL, Guo F, Mao XH, Zhang J, 2018. Control of Lihua thrips in greenhouse by chemical agents and different color trap boards. *Agriculture in Jiangxi Province*, (16): 37. [林彩玲, 郭飞, 毛小慧, 张娟, 2018. 化学药剂和不同颜色诱虫板对温室丽花蓟马的防治效果. 江西农业, (16): 37.]
- Liu BM, Preisser EL, Chu D, Pan HP, Xie W, Wang SL, Wu QJ, Zhou XG, Zhang YJ, 2013. Multiple forms of vector manipulation by a plant-infecting virus: *Bemisia tabaci* and Tomato yellow leaf curl virus. *Journal of Virology*, 87(9): 4929–4937.
- Liu C, Chen ZJ, Zhang F, Hong B, Zhang SL, Li YM, 2016. Relationship between virus carrying rate of *Bemisia tabaci* with TY occurrence. 25(8): 1244–1249. [刘晨, 陈志杰, 张锋, 洪波, 张淑莲, 李英梅, 2016. 烟粉虱带毒率与番茄黄化曲叶病毒病的发生关系. 西北农业学报, 25(8): 1244–1249.]
- Liu HL, 2011. Effect of LED lamp catching *Trialeurodes vaporariorum* Westwood in the greenhouse. *North Horticulture*, (23): 126–127. [刘慧莲, 2011. LED 黄光诱虫灯对温室白粉虱的诱虫效果. 北方园艺, (23): 126–127.]
- Liu PY, Zhao G, Shen SY, 2000. The taxis of the adults of *Liriomyza sativae* Blanchard to different colour boards. *Plant Quarantine*, 14(4): 203–204. [刘培延, 赵刚, 沈素云, 2000. 美洲斑潜蝇成虫对不同色板的趋性. 植物检疫, 14(4): 203–204.]
- Liu SL, Wang Y, Teng SH, Yan T, Cao YZ, Xu DK, 2015. Trapping effect of yellow armyworm board on adults of *Liriomyza sativae* in protected vegetables. *China Agricultural Technology Extension*, 31(1): 48–50. [刘士亮, 王颖, 滕世辉, 闫童, 曹永贞, 徐德坤, 2015. 黄色粘虫板对设施蔬菜斑潜蝇成虫的诱集效果试验. 中国农技推广, 31(1): 48–50.]
- Liu SS, Colvin J, De Barro PJ, 2012. Species concepts as applied to the whitefly *Bemisia tabaci* systematics: How many species are there. *Journal of Integrative Agriculture*, 11: 176–186.
- Liu SS, De Barro PJ, Xu J, Luan JB, Zang LS, Ruan YM, Wan FH, 2007. Asymmetric mating inter-actions drive widespread invasion and displacement in a whitefly. *Science*, 318(5857): 1769–1772.
- Liu YC, 2016. Study on the relationship between gamma-aminobutyric acid and acaricidal activity of Avermectin in *Tetranychus cinnabar*. Master thesis. Chongqing: Southwest University. [刘炎超, 2016. 朱砂叶螨 γ -氨基丁酸与阿维菌素杀螨活性关系研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Liu YC, Wang L, Zhang YJ, Xie W, Wu QJ, Wang SL, 2016. Abamectin resistance and expression of resistance-related genes in field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1199–1205. [刘贻聪, 王玲, 张友军, 谢文, 吴青君, 王少丽, 2016. 二斑叶螨田间种群对阿维菌素的抗性及相关基因表达分析. 昆虫学报, 59(11): 1199–1205.]
- Luan JB, Yao DM, Zhang T, Walling LL, Yang M, Wang YJ, Liu SS, 2013. Suppression of terpenoid synthesis in plants by a virus promotes Its mutualism with vectors. *Ecology Letters*, 16: 390–398.

- Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm L, Gorman K, 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection*, 29: 429–434.
- Luo C, Yao Y, Wang RJ, Yan FM, Hu DX, Zhang ZL, 2002. The use of mitochondrial cytochrome oxidase I (mt CO I) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 759–763. [罗晨, 姚远, 王戎疆, 阎凤鸣, 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.]
- Lv YB, Zhang ZJ, Wu QJ, Du YZ, Zhang HR, Yu Y, Wang ED, Wang MH, Wang MQ, Tong XL, Lv LH, Tan XQ, Fu WD, Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 488–496. [吕要斌, 张治军, 吴青君, 杜予州, 张宏瑞, 于毅, 王恩东, 王鸣华, 王满困, 童晓立, 吕利华, 谭新球, 付卫东, 2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范. 应用昆虫学报, 48(3): 488–496.]
- Mainali BP, Lim UT, 2010. Circular yellow sticky trap with black background enhances attraction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Applied Entomology and Zoology*, 45(1): 207–213.
- Maleknia B, Fathipour Y, Soufbaf M, 2016. How greenhouse cucumber cultivars affect population growth and two-sex life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 42(2): 70–78.
- Stavriniades MC, Daane KM, Lampinen BD, Mills NJ, 2010. Plant water stress, leaf temperature, and spider mite (Acari: Tetranychidae) outbreaks in California vineyards. *Environmental Entomology*, 39(4): 1232–1241.
- Messelink GJ, Janssen A, 2014. Increased control of thrips and aphids in greenhouses with two species of generalist predatory bugs involved in intraguild predation. *Biological Control*, 79: 1–7.
- Mutwiwa UN, Borgemeister C, Von Elsner B, Tantau HJ, 2005. Effects of UV-absorbing plastic films on greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 98(4): 1221–1228.
- Ohnesorge S, Bejarano ER, 2009. Begomovirus coat protein interacts with a small heat-shock protein of its transmission vector (*Bemisia tabaci*). *Insect Molecular Biology*, 18(6): 693–703.
- Opit GP, Nechols JR, Margolies DC, 2004. Biological control of two spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), using *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) on ivy geranium: assessment of predator release ratios. *Biological Control*, 29(3): 445–452.
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang N, Su Q, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 978–985.
- Pan HP, Chu D, Yan WQ, Su Q, Liu BM, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Li RM, 2012a. Rapid spread of tomato yellow leaf curl virus in China is aided differentially by two invasive whiteflies. *PLoS ONE*, 7(2): e34817.
- Pan HP, Li XC, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Chu D, Liu BM, Xu BY, 2012b. Factors affecting population dynamics of maternally transmitted endosymbionts in *Bemisia tabaci*. *PLoS ONE*, 7(2): e30760.
- Pan LL, Chen QF, Zhao JJ, Guo T, Wang XW, Hariton-Shalev A, Czosnek H, Liu SS, 2017. Clathrin-mediated endocytosis is involved in Tomato yellow leaf curl virus transport across the midgut barrier of its whitefly vector. *Virology*, 502: 152–159.
- Park CG, Kim HY, Lee JH, 2010. Parameter estimation for a temperature-dependent development model of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 13(2): 145–149.
- Pizzol J, Nammour D, Hervouet J P, Bout A, Desneux N, Mailleret L, 2010. Comparison of two methods of monitoring thrips populations in a greenhouse rose crop. *Journal of Pest Science*, 83(2): 191–196.
- Prado SG, Jandricic SE, Frank SD, 2015. Ecological interactions affecting the efficacy of *Aphidius colemani* in greenhouse crops. *Insects*, 6(2): 538–575.
- Qiu XH, Xiong KF, Chen YT, Zheng LM, Wang HQ, 2018. Control of *Tetranychus urticae* and its effect on strawberry quality. *China Plant Protection*, 38(8): 51–54. [邱晓红, 熊凯凡, 陈雅婷, 郑路敏, 王浩清, 2018. 胡瓜钝绥螨防治二斑叶螨的效果和对草莓品质的影响. 中国植保导刊, 38(8): 51–54.]
- Raviv M, Antignus Y, 2004. UV radiation effects on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops. *Photochemistry and Photobiology*, 79(3): 219–226.
- Rebijith KB, Asokan R, Kumar NKK, Krishna V, Ramamurthy VV, 2012. Development of species-specific markers and molecular differences in mtDNA of *Thrips palmi* Karny and *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thripidae: Thysanoptera), vectors of *Tospoviruses* (Bunyaviridae) in India. *Entomological News*, 122(3): 201–213.
- Reitz SR, Gao YL, Lei ZR, 2011. Thrips: Pests of concern to China and the United States. *Agricultural Sciences in China*, 10(6): 867–892.
- Roditakis E, Vasakis E, Lidia GV, Martínez-Aguirre MR, Rison JL, Haxaire-Lutun MO, Nauen R, Tsagkarakou A, Bielza P, 2018. A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta*, in the European/Asian region. *Journal of Pest Science*, 91(1): 421–435.

- Rostami E, Madadi H, Abbasipour H, Allahyari H, Cuthbertson AGS, 2017. Life table parameters of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. *Journal of Applied Entomology*, 141(1/2): 1–9.
- Satoshi K, Takeo I, Hiroak S, 2018. Reduction of sooty mold damage through biocontrol of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) using selective insecticides in tomato cultivation greenhouses. *Applied Entomology and Zoology*, 53: 395–402.
- Saurav GK, Guisuibou D, Vipin SR, Sonam P, Raman R, 2016. Detection and Localization of *Wolbachia* in *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *Indian Journal of Microbiology*, 56(2): 167–171.
- Selale H, Dağlı F, Mutlu N, Doğanlar S, Frary A, 2017. CryIAc-mediated resistance to tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) in tomato. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 131(1): 65–73.
- Stukenberg N, Gebauer K, Poehling HM, 2015. Light emitting diode (LED)-based trapping of the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). *Journal of Applied Entomology*, 139(4): 268–279.
- Sun YX, 2014. Effectiveness of imidacloprid in combination with a fertilizer against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) with irrigation application on tomato seedlings. Master thesis. Yangling: Northwest A&F University. [孙元星, 2014. 吡虫啉与冲施肥混用防治番茄烟粉虱的育苗期灌根施用技术研究. 硕士学位论文文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Su Q, Pan HP, Liu BM, Chu D, Xie W, Wu QJ, Wang SL, Xu BY, Zhang YJ, 2013. Insect symbiont facilitates vector acquisition, retention, and transmission of plant virus. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/srep01367.
- Teng X, Wan FH, Chu D, 2010. *Bemisia tabaci* biotype Q dominates other biotypes across China. *Florida Entomologist*, 93 (3): 363–368.
- Thongjua T, Jarun T, Jantapa S, Jirawan K, 2015. Attraction effect of Thrips (Thysanoptera: Thripidae) to sticky trap color on orchid greenhouse condition. *Journal of Agricultural Technology*, 11(8): 2451–2455.
- Wainaina JM, Barro D, Kubatko P, Kehoe L, Harvey MA, Karanja J, Boykin D, Global LM, 2018. Phylogenetic relationships, population structure and gene flow estimation of *Trialeurodes vaporariorum* (Greenhouse whitefly). *Bulletin of Entomological Research*, 108(1): 5–13.
- Wan FH, Zhang GF, Liu SS, Luo C, Chu D, Zhang YJ, Zang LS, Jiu M, Lv ZC, Cui XH, Zhang LP, Zhang F, Zhang QW, Liu WX, Liang P, Lei ZR, Zhang YJ, 2009. Intrusion mechanism and control foundation of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B. *Science in China (Series C: Life Sciences)*, 39(2): 141–148. [万方浩, 张桂芬, 刘树生, 罗晨, 褚栋, 张友军, 臧连生, 纠敏, 吕志创, 崔旭红, 张丽萍, 张帆, 张青文, 刘万学, 梁沛, 雷仲仁, 张永军, 2009. B 型烟粉虱的入侵机理与控制基础. 中国科学(C 辑: 生命科学), 39(2): 141–148.]
- Wang HH, Wang JL, Li YP, Liu X, Wen JC, Lei ZR, 2011. Liquid culturing of microsclerotia of *Beauveria bassiana*, an entomopathogenic fungus to control western flower thrip, *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(3): 588–595. [王海鸿, 王晶玲, 李银平, 刘旋, 问锦曾, 雷仲仁, 2011. 防治西花蓟马的病原真菌-白僵菌微菌核液体培养. 应用昆虫学报, 48(3): 588–595.]
- Wang JN, Wang XJ, Zhang YJ, Wang SL, 2013. Establishment and application of SCAR marker for rapid identification of *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Environmental Entomology*, 34(3): 295–301. [王金娜, 王相晶, 张友军, 王少丽, 2012. 温室白粉虱 SCAR 分子鉴定技术的建立及应用. 环境昆虫学报, 34(3): 295–301.]
- Wang SL, Dai YT, Zhang YJ, Wu QJ, Xie W, Tang XF, 2013. Establishment and application of molecular identification techniques for the spider mite, *Tetranychus truncatus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 388–394. [王少丽, 戴宇婷, 张友军, 吴青君, 谢文, 唐小凤, 2013. 截形叶螨分子鉴定技术的建立及其应用. 应用昆虫学报, 50(2): 388–394.]
- Wang SL, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2010. Population dynamics of spider mite in eggplants and control effects of abamectin. *Plant Protection*, 36(5): 141–144. [王少丽, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2010. 茄子叶螨种群消长动态及阿维菌素防治研究. 植物保护, 36(5): 141–144.]
- Wang SS, 2010. Study on scale insects in greenhouses of Beijing and toxicity test of *Verticillium lecanii* to *Pseudococcus longispinus* (Targioni-Tozzetti) (Hemiptera: Coccoidea). Master thesis. Beijing: Beijing Forestry University. [王珊珊, 2010. 北京地区温室蚧虫种类调查及蜡蚧轮枝菌对长尾粉蚧的毒力测定. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Wang SY, Lei ZR, Dong BX, Ren BZ, Lu ZQ, 2011. Applications of molecular markers in *Liriomyza*. *Plant Protection*, 37(2): 1–4. [王帅宇, 雷仲仁, 董保信, 任宝珍, 卢增全, 2011. 分子标记技术在斑潜蝇中的应用进展. 植物保护, 37(2): 1–4.]
- Wang ZY, Yan HF, Yang YH, Wu YD, 2010. Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China. *Pest Management Science*, 66(12): 1360–1366.
- Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ, Zhang ZJ, Zhu GR, 2007. Taxis of western flower thrips to different colors and field efficacy of the blue sticky cards. *Plant Protection*, 33(4): 103–105. [吴青君, 徐宝云, 张友军, 张治军, 朱国仁, 2007. 西花蓟马对不同颜色的趋性及蓝色粘板的田间评价. 植物保护, 33(4): 103–105.]
- Wu SY, Gao YL, Xu XN, Wang ED, Wang YJ, Lei ZR, 2014. Evaluation of *Stratiolaelaps scimitus* and *Neoseiulus barkeri* for biological control of thrips on greenhouse cucumbers. *Biocontrol*

- Science and Technology*, 24(10): 1110–1121.
- Wu SY, Gao YL, Xu XN, Zhang YP, Wang J, Lei ZR, Smagghe G, 2013. Laboratory and greenhouse evaluation of a new entomopathogenic strain of *Beauveria bassiana* for control of the onion thrips *tabaci*. *Biocontrol Science and Technology*, 23(7): 794–802.
- Wynne R, Morris A, Rae R, 2010. Behavioural avoidance by slugs and snails of the parasitic nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita*. *Biocontrol Science and Technology*, 26(8): 1129–1138.
- Xia XY, Fu BL, Li Q, Qiu HY, Tang LD, Liu K, 2017. Trapping technique in thrips control. *Journal of Agriculture*, 7(2): 31–35. [夏西亚, 付步礼, 李强, 邱海燕, 唐良德, 刘奎, 2017. 蓟马类害虫诱控技术研究进展. *农学报*, 7(2): 31–35.]
- Xiao T, Liu BS, Guo J, Yang JH, Pan YL, 2011. Attraction effect of series of sticky colored cards to *Frankliniella intonsa* (Trybom). *Jiangsu Agricultural Sciences*, (1): 159–160. [肖婷, 刘宝生, 郭建, 杨敬辉, 潘以楼, 2011. 不同颜色诱虫板对草蓟马的诱集作用. *江苏农业科学*, (1): 159–160.]
- 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*. *Applied Entomology and Zoology*, 45(3): 417–423.
- Xie RR, Sun JT, Xue XF, Hong XY, 2016. Cytoplasmic incompatibility and fitness benefits in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (red form) doubly infected with *Wolbachia* and *Cardinium*. *Systematic and Applied Acarology*, 21(9): 1161–1173.
- Yang CX, Pan HP, Liu Y, Zhou X, 2015. Stably expressed housekeeping genes across developmental stages in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *PLoS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120833>.
- Yang MM, Li YM, Zhang SL, Hong B, Wang JL, Chen ZJ, 2018. Taxis response of *Bemisia tabaci* MDE adults (Hemiptera: Aleyrodidae) to plant volatiles. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(5): 663–669. [杨苗苗, 李英梅, 张淑莲, 洪波, 王晶玲, 陈志杰, 2018. 烟粉虱 MED 隐种对植物挥发物的趋性行为. *中国生物防治学报*, 34(5): 663–669.]
- Zhang AS, Yu Y, Zhuang QY, Song YQ, Peng ZY, Zhou XH, Li LL, Men XY, 2015. Effect of spectral sensitivity and intensity on the behavioral response of the *Thrips palmi* female adult. *Acta Ecologica Sinica*, 35(11): 3555–3561. [张安盛, 于毅, 庄乾营, 宋亚秋, 彭宗英, 周仙红, 李丽莉, 门兴元, 2105. 光谱和光强度对棕榈蓟马雌成虫行为反应的影响. *生态学报*, 35(11): 3555–3561.]
- Zhang GF, Liu WX, Guo JY, Lv ZC, Wan FH, Shen XJ, 2012. Species-specific PCR primers for identification of *Liriomyza sativae* Blanchard. *Journal of Biosafety*, 21(1): 74–78. [张桂芬, 刘万学, 郭建英, 吕志创, 万方浩, 申香菊, 2012. 美洲斑潜蝇 SS-PCR 检测技术研究. *生物安全学报*, 21(1): 74–78.]
- Zhang MZ, Cai X, Zong Y, Qin XC, Wang JZ, Sun SL, Zhang ZY, 2012. Factors affecting body-turning behaviors of *Bradybaena rava rava*. *Journal of Ecology*, 31(6): 1487–1491. [张民照, 蔡雪, 宗雨, 覃晓春, 王进忠, 孙淑玲, 张志勇, 2012. 几种因子对灰尖巴蜗牛翻身习性的影响. *生态学杂志*, 31(6): 1487–1491.]
- Zhang MZ, Du YL, Qin XC, Yang G, Sun SL, Wang JZ, Zhang ZY, 2015. The feeding selection of *Cathaica fasciola* to 25 different plants. *Plant Protection*, 41(4): 106–110, 116. [张民照, 杜艳丽, 覃晓春, 杨光, 孙淑玲, 王进忠, 张志勇, 2015. 条华蜗牛对 25 种植物的取食选择. *植物保护*, 41(4): 106–110, 116.]
- Zhang MZ, Du YL, Qin XC, Zhao YJ, Wang JZ, Zhang ZY, 2015. Study on the behaviour of dormancy breaking in *Cathaica fasciola* (Draparnaud 1801) (Gastropoda: Stylommatophora). *Molluscan Research*, 35(4): 213–217.
- Zhang MZ, Zong Y, Wang XY, Cai X, Zhang ZY, 2009. Study on the death-feigning behavior of the harmful mollusk, *Cathaica fasciola* (Draparnaud 1801). *Scientia Agricultura Sinica*, 42(11): 3914–3921. [张民照, 宗雨, 王雪莹, 蔡雪, 张志勇, 2009. 有害软体动物条华蜗牛(*Cathaica fasciola*)假死性的研究. *中国农业科学*, 42(11): 3914–3921.]
- Zhang PJ, Zhu XY, Lu YB, 2011. Behavioural and chemical evidence of a male-produced aggregation pheromone in the flower thrips *Frankliniella intonsa*. *Physiological Entomology*, 36: 317–320.
- Zhang YK, Zhang KJ, Sun JT, Yang XM, Ge C, Hong XY, 2013. Diversity of *Wolbachia* in natural populations of spider mites (genus *Tetranychus*): evidence for complex infection history and disequilibrium distribution. *Microbial Ecology*, 65(3): 731–739.
- Zhang ZL, 2000. Thinking about the occurrence of mildew. *Beijing Agricultural Science*, 18(增刊): 1–3. [张芝利, 2000. 关于烟粉虱大发生的思考. *北京农业科学*, 18(Suppl.): 1–3.]
- Zhang ZJ, Zhang PJ, Li WD, Zhang JM, Huang F, Yang J, Bei YW, Lu YB, 2013. De novo transcriptome sequencing in *Frankliniella occidentalis* to identify genes involved in plant virus transmission and insecticide resistance. *Genomics*, 101(5): 296–305.
- Zhu LY, Jiang XY, Yang SX, Xu M, Hong XY, 2012. Reproductive effects and localization of *Wolbachia* and *Cardinium* in the spider mite *Tetranychus piercei* (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(6): 684–693. [朱路雨, 蒋欣雨, 杨思霞, 徐敏, 洪晓月, 2012. *Wolbachia* 和 *Cardinium* 对皮氏叶螨生殖的影响及在寄主体内的定位. *昆虫学报*, 55(6): 684–693.]
- Zhu PX, Liu MC, Qin YC, Xie JJ, Liu YH, 2011. Control effects of whitefly by intercropping celery in greenhouse. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 375–378. [朱培祥, 刘美昌, 秦玉川, 谢建军, 刘云虹, 2011. 保护地间作芹菜对温室粉虱的防治作用. *应用昆虫学报*, 48(2): 375–378.]