



窦文珺, 羊绍武, 柳青, 陈国华, 张晓明. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 342–354.

我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展

窦文珺¹, 羊绍武^{1*}, 柳青², 陈国华^{1**}, 张晓明^{1**}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;

2. 保山学院资源环境学院, 云南保山 678000)

摘要: 烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 是一种广泛分布于世界各地的多食性害虫, 对我国多个省市区的农作物和观赏植物造成了严重的危害。化学杀虫剂的大量使用在杀伤天敌的同时使烟粉虱产生了不同程度的抗性, 防治越来越困难; 相较于化学防治, 在不同地区筛选有效的天敌对烟粉虱进行生物防治是对烟粉虱进行有效控制的重要方法。我国报道的捕食性天敌共计 26 科 109 种, 寄生性天敌共计 2 科 59 种。烟粉虱防治过程中由于单一的防治效果不理想, 联合多个天敌资源的利用是增加对烟粉虱的生物防治效果的重要手段。本文通过对我国烟粉虱捕食性和寄生性天敌种类系统全面的整理, 同时对烟粉虱优势种天敌中的单种或者多种组合利用后对烟粉虱的的控害潜能进行综述, 以期对烟粉虱天敌昆虫种类的筛选和实现高效的生物防治提供科学依据。

关键词: 烟粉虱; 捕食性天敌; 寄生性天敌; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 02-0342-13

Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China

DOU Wen-Jun¹, YANG Shao-Wu^{1*}, LIU Qing², CHEN Guo-Hua^{1**}, ZHANG Xiao-Ming^{1**}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, State Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 2. School of Resources and Environment, Baoshan University, Baoshan 678000, Yunnan Province, China)

Abstract: *Bemisia tabaci* Gennadius is a polyphagous pest widely distributed all over the world. It caused serious damage to crops and ornamental plants in many provinces and cities in China. The extensive use of chemical insecticides not only kills natural enemies but also causes different degrees of resistance to *B. tabaci*. Compared with chemical control, biological control of *B. tabaci* in different areas is an important method for effective control of *B. tabaci*. There are 109 species of predatory natural enemies in 26 families and 59 species of parasitic natural enemies in 2 families reported in China. In the process of *B. tabaci* control, combined use of several natural enemies is an important way to increase the biological control effect of *B. tabaci*. In this paper, the species of predatory and parasitic natural enemies of *B. tabaci* in

基金项目: 国家自然科学基金 (31760541, 31400351); 云南省高校滇西昆虫资源保护与利用重点实验室建设项目 (云教发 [2019] 57 号); 第十七批昆明市中青年学术和技术后备人才项目 (昆政发 [2019] 43 号)

作者简介: 窦文珺, 女, 1994 年生, 在读硕士研究生, 云南昆明人, 研究方向为昆虫生态与害虫治理, E-mail: douwenjun222@126.com

* 共同第一作者简介: 羊绍武, 男, 1991 年生, 在读博士研究生, 四川绵阳人, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: yangshaowu910@126.com

** 通信作者 Authors for correspondence: 陈国华, 博士, 教授, 主要研究方向为害虫综合治理, E-mail: chenghkm@126.com; 张晓明, 博士, 副教授, 主要研究方向为入侵生物学与生态学, E-mail: zxmalex@126.com

收稿日期 Received: 2019-03-25; 接受日期 Accepted: 2019-08-19

China were systematically sorted out , and the potential of controlling natural enemies of the dominant species of *B. tabaci* were summarized , in order to provide scientific basis for the selection of natural enemies of *B. tabaci* and the realization of effective biological control.

Key words: *Bemisia tabaci*; predatory natural enemies; parasitic natural enemies; biological control

烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius , 隶属半翅目 Hemiptera 粉虱科 Aleyrodidae , 又称甘薯粉虱、棉粉虱 , 俗称小白蛾 , 广泛分布于全球热带和亚热带地区 (刘银泉和刘树生 , 2012) 。 1889 年烟粉虱在希腊的烟草上首次被发现 (Gennadius , 1889) , 20 世纪 80 年代 , 随着世界范围内的贸易往来 , 烟粉虱借助蔬菜及园林花卉苗木调运迅速扩散 , 在世界各地广泛传播并暴发成灾 , 现已成为美国、印度、巴基斯坦、苏丹和以色列等国家农业生产上的重要害虫之一 (Brown , 1994; Brown *et al.* , 1995) 。 我国烟粉虱的记载始于 1949 年 , 之后迅速成为一种新发生的虫害 , 危害番茄、黄瓜、辣椒等蔬菜及棉花、菊花等众多经济作物 , 其引起的损失不容忽视 (周尧 , 1949) 。

烟粉虱的天敌资源丰富 , 在全球范围内烟粉虱的生物防治研究和应用迄今已有 40 余年的历史 (Ren *et al.* , 2001) 。 随着研究的深入 , 烟粉虱的天敌种类不断增加 , 据不完全统计 , 全世界烟粉虱捕食性天敌达 128 种 , 寄生性天敌 90 余种 (Gerling *et al.* , 2001; 任顺祥等 , 2004; Li *et al.* , 2011) ; 目前 , 我国已经报道的烟粉虱天敌达 168 种 , 其中捕食性天敌有 109 种 , 寄生性天敌有 59 种 (Ren *et al.* , 2001; Li *et al.* , 2011; 余清等 , 2017; 杨静逸等 , 2018) 。

近年来 , 多种天敌混合释放来增强烟粉虱的生物防治效果已成为研究热点。不同天敌混合释放在提高对烟粉虱防治效果的同时 , 能间接增强群落稳定性 , 通过增加相同食物链中生物多样性来减少天敌种群的自然衰退 (Heimpel and Mills , 2008) 。 但是在烟粉虱的综合治理中 , 烟粉虱的不同种天敌之间既存在着竞争关系又存在着捕食或寄生关系 (马克争等 , 2004) 。

Li *et al.* (2011) 报道了烟粉虱的寄生性和捕食性天敌种类 , 本文对烟粉虱的寄生性和捕食性天敌种类的最近报道进行整理 , 结合前人研究总结了天敌之间的相互作用对烟粉虱生物防治的意义。以期在烟粉虱的生物防治过程中 , 为天敌种类的合理选用提供科学依据。

1 烟粉虱捕食性天敌

我国烟粉虱的捕食性天敌有 109 种 , 包括鞘翅目 Coleoptera 3 科 40 种、半翅目 Hemiptera 3 科 19 种、脉翅目 Neuroptera 2 科 12 种、蜱螨目 Acarina 3 科 14 种、蜘蛛目 Araneae 11 科 20 种、双翅目 Diptera 1 科 1 种、螳螂目 Mantodea 1 科 1 种、缨翅目 Thysanoptera 2 科 2 种。

表 1 我国已知的烟粉虱的捕食性天敌种类
Table 1 Predatory natural enemies of *Bemisia tabaci* known in China

目 Order	科 Family	种 Species	参考文献 References
蜱螨目 Acarina	植绥螨科 Phytoseiidae	江源钝绥螨 <i>Amblyseius eharai</i>	杨静逸等 , 2018
		<i>Amblydromalus limonicus</i>	杨静逸等 , 2018
		拟长毛钝绥螨 <i>Amblyseius pseudolongispinosu</i>	吴子毅 , 2009
		卵圆钝绥螨 <i>Amblyseius ovalis</i>	吴子毅 , 2009
		斯氏钝绥螨 <i>Amblyseius swirskii</i>	韩玉花 , 2012
		东方钝绥螨 <i>Amblyseius orientalis</i>	韩玉花 , 2012
		津川钝绥螨 <i>Amblyseius tsugawai</i>	杨静逸等 , 2018
		有益真绥螨 <i>Euseius utilis</i>	韩玉花 , 2012
		巴氏新小绥螨 <i>Neoseiulus barkeri</i>	韩玉花 , 2012

续表 1 Continued table 1

目 Order	科 Family	种 Species	参考文献 References
蜘蛛目 Araneae	囊螨科 Ascidae	胡瓜钝绥螨 <i>Neoseiulus cucumeris</i>	余清等, 2017
		苏氏副伦绥螨 <i>Paraseiulus soleiger</i>	韩玉花, 2012
		毛里横绥螨 <i>Transius morii</i>	韩玉花, 2012
		<i>Lasioseius</i> sp.	吴子毅, 2009
	绒螨科 Trombidiidae	绒螨 <i>Allothrombium</i> sp.	吴刚等, 2011
	漏斗蛛科 Agelenidae	迷宫漏斗蛛 <i>Agelena labyrinthica</i>	Li et al., 2011
		灌木新园蛛 <i>Neoscona adianta</i>	吴刚等, 2011
	园蛛科 Araneidae	<i>Neoscona arabesca</i>	Li et al., 2011
		黄褐新圆蛛 <i>Neoscona doenitzi</i>	吕志创等, 2005
		茶色新园蛛 <i>Neoscona theisi</i>	Li et al., 2011
		黑亮腹蛛 <i>Singa hamata</i>	Li et al., 2011
	棕管巢蛛科 Clubionidae	棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	付文锋等, 2009
	皿蛛科 Linyphiidae	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	吕志创等, 2005
	狼蛛科 Lycosidae	拟环狼蛛 <i>Lycosa pseudoannulata</i>	Li et al., 2011
	猫蛛科 Oxyopidae	斜纹猫蛛 <i>Oxyopes sertalus</i>	吴刚等, 2011
	逍遥蛛科 Philodromidae	金黄逍遥蛛 <i>Philodromus anreolus</i>	Li et al., 2011
		小带斑蛛 <i>Euophrys undulato vittata</i>	Li et al., 2011
		纵条蝇狮 <i>Marpissa magister</i>	Li et al., 2011
	跳蛛科 Salticidae	黑色蝇虎 <i>Plexippus paykulli</i>	Li et al., 2011
		条纹蝇虎 <i>Plexippus setipes</i>	Li et al., 2011
		日本长脚蛛 <i>Tetragnatha japonica</i>	Li et al., 2011
	肖蛸科 Tetragnathidae	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	付文锋等, 2009
		三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	付文锋等, 2009
	蟹蛛科 Thomisidae	鞍形花蟹蛛 <i>Xysticus ephippiatus</i>	Li et al., 2011
	球腹蛛科 Theridiidae	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	曾粮斌等, 2006
鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	二星瓢虫 <i>Adalia bipunctata</i>	Li et al., 2011
		十斑大瓢虫 <i>Anisolemnia dilatata</i>	Li et al., 2011
		越南斧瓢虫 <i>Axinoscymnus apioides</i>	Ren et al., 2001
		淡色斧瓢虫 <i>Axinoscymnus cardilobus</i>	Ren et al., 2001
		黑背唇瓢虫 <i>Chilocorus gressitti</i>	Li et al., 2011
		红点唇瓢虫 <i>Chilocorus kuwanae</i>	Li et al., 2011
		黑缘红瓢虫 <i>Chilocorus rubidus</i>	Li et al., 2011
		七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	陶金昌等, 2007
		十一星瓢虫 <i>Coccinella undecimpunctata</i>	Li et al., 2011
		全黑瓢虫 <i>Coccinella</i> sp.	吴刚等, 2011
		<i>Clitostethus stenalis</i>	Ren et al., 2001

续表 1 Continued table 1

目 Order	科 Family	种 Species	参考文献 References
鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	孟氏隐盾瓢虫 <i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		小黑瓢虫 <i>Delphastus catalinae</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	林克剑等 , 2006
		红肩瓢虫 <i>Harmonia dimidiata</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		十三星瓢虫 <i>Hippodamia tredecimpunctata</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		多异瓢虫 <i>Hippodamia variegata</i>	吴刚等 , 2011
		四星瓢虫 <i>Hyperaspis repensis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		中华显盾瓢虫 <i>Hyperspis sinensis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		双带盘瓢虫 <i>Lemnia biplagiata</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		黑条长瓢虫 <i>Macronaemia hauseri</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculata</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Micraspis inops</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		菱斑巧瓢虫 <i>Oenopis conglobata</i>	吴刚等 , 2011
		红星盘瓢虫 <i>Phrynocaria congener</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	林克剑等 , 2006
		澳洲瓢虫 <i>Rodolia cardinalis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		红环瓢虫 <i>Rodolia limbata</i>	王刘豪等 , 2012
		黑背毛瓢虫 <i>Scymnus (Neopullus) bacai</i>	王刘豪等 , 2012
		四斑毛瓢虫 <i>Scymnus fronsalis</i>	王刘豪等 , 2012
		黑襟毛瓢虫 <i>Scymnus hoffmanni</i>	吕志创等 , 2005
		小毛瓢虫 <i>Scymnus sp.</i>	王刘豪等 , 2012
		茎骨刀角瓢虫 <i>Serangium baculum</i>	Wang <i>et al.</i> , 2011
		镰叶刀角瓢虫 <i>Serangium drepanicum</i>	Wang <i>et al.</i> , 2011
		日本刀角瓢虫 <i>Serangium japonicum</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		沙吧拟刀角瓢虫 <i>Serangillia</i>	苗静等 , 2010
		深点食螨瓢虫 <i>Stethorus punctillum</i>	王刘豪等 , 2012
		整胸寡节瓢虫 <i>Telsimia emarginata</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
	方头甲科 Cybocephalidae	日本方头甲 <i>Cybocephalus nipponicus</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
	隐翅甲科 Staphylinidae	青翅蚊形隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Syrphidae	短刺刺腿食蚜蝇 <i>Ischiodon scuteuaria</i>	吴刚等 , 2011
		黑翅小花螭 <i>Orius agilis</i>	王刘豪等 , 2012
		应用花螭 <i>Orius albidipennis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
半翅目 Heteroptera	花螭科 Anthocoridae	小花螭 <i>Orius insidiosus</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		微小花螭 <i>Orius minutus</i>	王刘豪等 , 2012
		东亚小花螭 <i>Orius sauteri</i>	吕志创等 , 2005
		南方小花螭 <i>Orius similis</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		南方小黑花螭 <i>Orius strigicollis</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		淡翅小花螭 <i>Orius tantillus</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001

续表 1 Continued table 1

目 Order	科 Family	种 Species	参考文献 References
螳螂目 Mantodea	长蝽科 Lygaeidae	宽大眼长蝽 <i>Geocoris ochropterus</i>	王刘豪等, 2012
		中华微刺盲蝽 <i>Campylomma chinensis</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		异须微刺盲蝽 <i>Campylomma diversicornis</i>	吴刚等, 2011
		黑肩绿盲蝽 <i>Cyrtorhinus lividipennis</i>	王刘豪等, 2012
	盲蝽科 Miridae	食中齿爪盲蝽 <i>Deraeocoris punctulatus</i>	吴刚等, 2011
		盲蝽 <i>Macrolophus caliginosus</i>	任顺祥等, 2004
		烟盲蝽 <i>Nesidiocoris tenuis</i>	许庆辉, 2013
		叶盲蝽 <i>Phyllinae</i> sp.	吴刚等, 2011
	猎蝽科 Reduviidae	窄姬猎蝽 <i>Nabis stenoderus</i>	王刘豪等, 2012
		华姬猎蝽 <i>Nabis sinoferus</i>	王刘豪等, 2012
		黄足猎蝽 <i>Sirthena flavipes</i>	王刘豪等, 2012
		薄翅螳螂 <i>Mantis religiosa</i>	吴刚等, 2011
	螳螂科 Mantidae	八斑绢草蛉 <i>Ancylopteryx octopunctata</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		台湾草蛉 <i>Chrysocerca formosa</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		亚洲草蛉 <i>Chrysopa boninsis</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		丽草蛉 <i>Chrysopa formosa</i>	吕志创等, 2005
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae	大草蛉 <i>Chrysopa pallens</i>	吕志创等, 2005
		叶色草蛉 <i>Chrysopa phyllochroma</i>	王刘豪等, 2012
		红通草蛉 <i>Chrysopa rufilabris</i>	刘爽等, 2011
		晋草蛉 <i>Chrysopa shansiensis</i>	王刘豪等, 2012
	粉蛉科 Coniopterygidae	中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i>	林克剑等, 2006
		普通草蛉 <i>Chrysoperla carnea</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		亚非玛草蛉 <i>Mallada boninensis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		广重粉蛉 <i>Semidalis aleyrodiformis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
	纹蓟马科 Aeolothripidae	横纹蓟马 <i>Aeolothrips fasciatus</i>	王刘豪等, 2012
		塔六点蓟马 <i>Scolothrips takahashi</i>	王刘豪等, 2012
	蓟马科 Thripidae		

1.1 鞘翅目

我国记录有 40 种瓢虫可捕食烟粉虱, 目前控制烟粉虱的瓢虫主要有 5 种。日本刀角瓢虫是我国重要的烟粉虱捕食性天敌, 广泛分布在我国南方地区, 各龄幼虫和成虫均可取食烟粉虱的卵和若虫, 具有很强的捕食能力, 尤其对烟粉虱卵的捕食量巨大 (姚松林等, 2004; 姚凤奎等, 2018)。日本刀角瓢虫的成虫和 4 龄幼虫均对烟粉虱具有较好的控制潜力, 由于日本刀角瓢虫幼虫在化蛹前需要积累营养, 其 4 龄幼虫对烟粉虱的捕食量和瞬间攻击率显著大于成虫, 并且对低龄

烟粉虱若虫的捕食量明显高于对烟粉虱高龄若虫的捕食量, 在生物防治上极具开发应用价值 (马丽君等, 2018)。小黑瓢虫能取食烟粉虱的各个虫态, 更偏好捕食烟粉虱的卵, 并且受温度影响, 当烟粉虱卵密度一定时, 随着温度的升高, 小黑瓢虫的捕食量增大、攻击系数升高、寻找效应提高, 在 27℃ 时达到最大值 (阙晓堂, 2012; 罗宏伟, 2015)。在美国加州棉田的笼罩试验中, 小黑瓢虫的释放使烟粉虱的若虫密度减少到棉花地块中初始密度的 1/3, 并成功地控制烟粉虱的暴发 (Heinz *et al.*, 1994)。黄振等 (2006) 在淡色斧

瓢虫对烟粉虱的捕食作用研究中表明, 随着淡色斧瓢虫幼虫龄期的增加, 其对烟粉虱卵的寻找效率逐渐提高, 处理时间依次缩短; 捕食作用率随淡色斧瓢虫密度的增加而降低, 淡色斧瓢虫密度较低时, 捕食作用率下降较快, 随着淡色斧瓢虫密度的进一步增加, 捕食作用率缓慢下降。在大田笼罩条件下, 以淡色斧瓢虫和烟粉虱 1:40 的数量比例释放淡色斧瓢虫, 对烟粉虱的防治效果超过 35%, 最高是可达 95% (黄振等, 2008)。龟纹瓢虫和异色瓢虫的成虫和幼虫的活动能力强, 二者的 3 龄幼虫均能有效地捕食烟粉虱若虫, 但从日捕食量来看, 异色瓢虫的捕食量较龟纹瓢虫大 (林克剑, 2006)。棉田中通过间作玉米或者甜瓜时与单作棉花田相比烟粉虱的种群密度显著降低, 主要天敌龟纹瓢虫的种群数量显著增加, 从而增加了对烟粉虱种群的控制能力 (张晓明, 2013)。

1.2 半翅目

我国现有 19 种捕食蝽被记录为烟粉虱的捕食性天敌, 目前研究最多的是东亚小花蝽。东亚小花蝽可捕食烟粉虱的所有虫态, 捕食量大小依次为: 卵 > 若虫 > 成虫 (邹卫辉, 2004)。其捕食作用同时受到猎物密度和自身密度的影响, 对烟粉虱的捕食量随着猎物密度的增加而增加, 但对烟粉虱的寻效应均随猎物密度的增加而降低, 对成虫的搜寻效应均高于若虫 (王洪亮等, 2013)。余金咏等 (2003) 的研究表明, 中华微刺盲蝽 4 龄若虫、5 龄若虫和成虫对烟粉虱的捕食量均随着密度的增加而增大, 但它们之间捕食量的差异并不显著。在玉米与棉花间作的情况下棉花微小花蝽种群与单作棉花相比显著增加, 烟粉虱的种群的显著降低 (张晓明, 2013)。

1.3 脉翅目

我国现有 10 种烟粉虱草蛉类捕食性天敌, 常用以下 2 种来控制烟粉虱。中华草蛉对烟粉虱具有较强的控制作用, 随着中华草蛉幼虫龄期的增加, 对烟粉虱若虫的捕食量也逐渐增加, 3 龄幼虫的捕食量最大; 由于各虫态个体间存在竞争和干扰, 幼虫的捕食量均表现出随自身密度的增加而下降的趋势, 捕食作用逐渐降低 (买合甫皮古丽·阿不力米提等, 2013)。与中华草蛉相比, 大草蛉则是主要靠 3 龄幼虫捕食烟粉虱, 且对烟粉

虱的伪蛹表现出强烈的捕食偏好性, 大草蛉 3 龄幼虫的最大捕食量随猎物密度的增加而增加, 其瞬间攻击率随烟粉虱龄期的增加而增大, 对烟粉虱的搜寻效应随烟粉虱虫龄的增加而升高 (刘爽等, 2011)。

1.4 蜱螨目

目前我国报道的烟粉虱蜱螨目捕食性天敌大约有 2 科 13 种。其中植绥螨是防治烟粉虱比较有潜力的一类天敌, 我国具有丰富的植绥螨资源。韩玉花 (2012) 发现, 以烟粉虱为猎物时, 斯氏钝绥螨的存活率、发育期和产卵率最佳, 其次是有益真绥螨和东方钝绥螨, 三者都是控制烟粉虱较有潜力的植绥螨。斯氏钝绥螨主要以烟粉虱的卵和若虫为食, 但很少取食烟粉虱的成虫 (Nomikou *et al.*, 2001)。在温室烟草上释放胡瓜钝绥螨或斯氏钝绥螨, 对烟草上烟粉虱若虫和成虫的防治效果均达 99% 以上, 表现出对烟粉虱种群良好的控制作用 (余清等, 2017)。

1.5 蜘蛛目

我国报道的烟粉虱蜘蛛目捕食性天敌大约有 20 种。曾粮斌等 (2006) 研究表明, 八斑球腹蛛是一种对烟粉虱具有潜在控制作用的捕食性天敌, 在适宜的温度范围内对烟粉虱的发现率和最大捕食量随温度升高而增大, 平均处理时间随温度升高而减少。付文锋等 (2009) 研究表明, 对烟粉虱种群数量有抑制作用的主要天敌依次是草间小黑蛛、八斑球腹蛛和棕管巢蛛, 其中八斑球腹蛛、棕管巢蛛与烟粉虱空间格局较为接近, 对烟粉虱的控制效果较好。同时作物布局的调整能增加天敌三突花蟹蛛的种群数量 (张晓明, 2013)。

2 烟粉虱寄生性天敌种类

目前我国有 59 种寄生蜂可以寄生于烟粉虱, 其中恩蚜小蜂属 42 种、桨角蚜小蜂属 14 种。

2.1 恩蚜小蜂属

恩蚜小蜂属的寄生蜂通过烟粉虱分泌的蜜露来寻找烟粉虱, 大多数为单寄生性内寄生蜂, 通过体表刺穿寄主, 雌雄蜂有不同的生殖方式和发育规律。在我国目前对以下 3 种恩蚜小蜂属的寄生蜂研究的较多。

表 2 我国已知的烟粉虱的寄生性天敌种类

Table 2 Species of parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* known in China

科 Family	属 Genus	种 Species	参考文献 References
蚜小蜂科 Aphelinidae	花角蚜小蜂属 <i>Ablerus</i>	<i>Ablerus macrochaeta</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		<i>Encarsia abundantia</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		阿比恩蚜小蜂 <i>Encarsia albiscutellum</i>	Huang and Polaszek , 1998
		<i>Encarsia ancistrocera</i>	Huang and Polaszek , 1998
		裸盾恩蚜小蜂 <i>Encarsia asea</i>	黄建等 , 2000
		阿氏恩蚜小蜂 <i>Encarsia azimi</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		桑粉虱扑虱蚜小蜂 <i>Encarsia bemisiae</i>	Gerling <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia bennetti</i>	Huang and Polaszek , 1998
		双斑恩蚜小蜂 <i>Encarsia bimaculata</i>	黄建等 , 2000
		拟黄恩蚜小蜂 <i>Encarsia bothrocera</i>	Huang and Polaszek , 1998
		<i>Encarsia cibensis</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		克恩蚜小蜂 <i>Encarsia collecta</i>	Huang and Polaszek , 1998
		<i>Encarsia duorunga</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia echinocera</i>	Huang and Polaszek , 1998
		雅恩蚜小蜂 <i>Encarsia elegans</i>	Huang and Polaszek , 1998
		丽蚜小蜂 <i>Encarsia formosa</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		福建恩蚜小蜂 <i>Encarsia fujianensis</i>	Huang and Polaszek , 1998
		葛氏恩蚜小蜂 <i>Encarsia gerlingi</i>	Huang and Polaszek , 1998
		钩瓣恩蚜小蜂 <i>Encarsia hamata</i>	黄建等 , 2000
		伊娜恩蚜小蜂 <i>Encarsia inaron</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
	恩蚜小蜂属 <i>Encarsia</i>	黄腹恩蚜小蜂 <i>Encarsia ishii</i>	Huang and Polaszek , 1998
		日本恩蚜小蜂 <i>Encarsia japonica</i>	黄建等 , 2000
		<i>Encarsia lahorensis</i>	Huang and Polaszek , 1998
		<i>Encarsia longicauda</i>	Huang and Polaszek , 1998
		长带恩蚜小蜂 <i>Encarsia longifasciata</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia longivalvula</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		单毛长缨恩蚜小蜂 <i>Encarsia lounsburyi</i>	黄建等 , 2000
		露狄恩蚜小蜂 <i>Encarsia lutea</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia magnivena</i>	Huang and Polaszek , 1998
		<i>Encarsia merceti</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		茱恩蚜小蜂 <i>Encarsia mohyuddini</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		榛黄蚜小蜂 <i>Encarsia nipponica</i>	Huang and Polaszek , 1998
		钝棒恩蚜小蜂 <i>Encarsia obtusiclava</i>	黄建等 , 2000
		欧甫恩蚜小蜂 <i>Encarsia opulenta</i>	Huang and Polaszek , 1998
		朴孚恩蚜小蜂 <i>Encarsia perflava</i>	Huang and Polaszek , 1998
		朴乐恩蚜小蜂 <i>Encarsia perplexa</i>	Huang and Polaszek , 1998
		网纹恩蚜小蜂 <i>Encarsia protransvena</i>	Gerling <i>et al.</i> , 2001
		黄盾恩蚜小蜂 <i>Encarsia smithi</i>	黄建等 , 2000
		浅黄恩蚜小蜂 <i>Encarsia sophia</i>	黄建等 , 2000
		<i>Encarsia strenua</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia synatocera</i>	黄建等 , 2000
		<i>Encarsia transvena</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		<i>Encarsia tristis</i>	Gerling <i>et al.</i> , 2001

续表 2 Continued table 2

科 Family	属 Genus	种 Species	参考文献 References
广腹细蜂科 Platygastridae	浆角蚜小蜂属 <i>Eretmocer</i>	康尼浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>corni</i>	黄蓬英, 2002
		狄氏浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>debachi</i>	皇甫伟国等, 2010
		酋长浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>emiratus</i>	吴琼等, 2009
		古桥浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>furuhashii</i>	吴琼等, 2009
		巩特浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>gunturiensis</i>	黄蓬英, 2002
		海氏浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>hayati</i>	吴琼等, 2009
		长浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>longiscapus</i>	黄建等, 2000
		蒙氏浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>mundus</i>	黄建等, 2000
		黑盾浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>melanoscutus</i>	吴琼等, 2009
		东方浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>orientalis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		瑞加浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>nr. rajasthanicus</i>	Ren <i>et al.</i> , 2001
		刻盾浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>sculpturatus</i>	吴琼等, 2009
		粉虱长棒蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>serius</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
		斯氏浆角蚜小蜂 <i>Eretmocer</i> <i>silverstrii</i>	黄蓬英, 2002
		长角广腹细蜂 <i>Amitus</i> <i>longicornis</i>	Li <i>et al.</i> , 2011
	滑行黑蜂属 <i>Amitus</i>	黑刺粉虱细蜂 <i>Amitus</i> <i>hesperidum</i>	Li <i>et al.</i> , 2011

丽蚜小蜂在世界范围内被广泛研究, 在丽蚜小蜂发育的各个阶段中, 均可以通过寄生取食的方式杀死粉虱, 其寄生 2~3 龄的粉虱若虫数比较多、取食 4 龄若虫数最多 (郭义等, 2007)。在田间释放丽蚜小蜂, 防治烟粉虱的效果在放蜂后第 2 周开始出现, 第 4 周能有效的发挥控制作用, 因此, 应该在烟粉虱发生初期在田间提前 10~15 d 放蜂, 从而更好地发挥丽蚜小蜂控制烟粉虱的效果 (何笙等, 2013)。双斑恩蚜小蜂为单寄生性寄生蜂, 其生殖方式是两性产雌, 雌蜂为初寄生蜂, 孤雌产雄且雄蜂为自复寄生 (钱明惠等, 2007), 可以寄生烟粉虱的 1~4 龄若虫, 除了产卵之外, 双斑恩蚜小蜂雌蜂还可以取食烟粉虱若虫的体液 (邱宝利等, 2005)。浅黄恩蚜小蜂是雌雄自复寄生蜂, 这种广泛分布的物种至少由两个不同的种群或隐种组成 (Giorgini and Baldanza, 2004); 浅黄恩蚜小蜂喜欢在烟粉虱 3~4 龄若虫上寄生 (王继红等, 2011), 它可以在烟粉虱若虫 (主要宿主) 中产卵, 随后发育成雌性或将其未受精的卵产在同种或异种寄生蜂 (次生宿主) 的幼虫上, 发育成雄蜂 (Xu *et al.* , 2018)。有研究表明, 不管是在非选择性条件下还是选择性条件下, 浅黄

恩蚜小蜂寄生 B 型烟粉虱若虫的数量及总产卵量都显著高于寄生 Q 型烟粉虱, 浅黄恩蚜小蜂的发育时间、羽化率在烟粉虱两种生物型间无显著差异, 而且, 以 B 型烟粉虱若虫为寄主时, 浅黄恩蚜小蜂的产卵量和寄生若虫数量均会增加 (王继红等, 2011)。

2.2 浆角蚜小蜂属

浆角蚜小蜂属的寄生蜂仅寄生于粉虱类昆虫, 被广泛应用于粉虱的生物防治中。所有已知的浆角蚜小蜂属寄生蜂均可在粉虱类幼虫中产卵, 烟粉虱的 2 龄和 3 龄若虫是产卵的首选。特殊的是, 其 1 龄幼虫为外寄生, 其余龄期为内寄生 (孟祥锋等, 2006)。我国目前研究的最多的为古桥浆角蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂。

古桥浆角蚜小蜂是我国华南地区烟粉虱的优势寄生蜂种类 (邱宝利等, 2004), 其选择烟粉虱的 1~4 龄若虫作为寄主, 但更偏好 2 龄和 3 龄若虫, 雌蜂先将卵产在烟粉虱若虫的腹部与叶片之间, 待幼虫孵化后再钻入寄主若虫体内, 取食寄主营养来完成发育, 并在烟粉虱若虫 4 龄末期羽化而出 (Qiu *et al.* , 2005; Qiu *et al.* , 2007)。海氏浆角蚜小蜂目前被认为是适合防治烟粉虱的天

敌之一。有研究表明,海氏桨角蚜小蜂在遭遇烟粉虱若虫后,倾向于先寄生后取食,寄生量和取食量相当(徐海云等,2015)。海氏桨角蚜小蜂比较倾向于寄生烟粉虱 1~2 龄若虫(Zhang *et al.*, 2015)。

2.3 滑翔黑蜂属

滑翔黑蜂属的寄生蜂在国内鲜有相关的研究报道。滑翔黑蜂属的寄生蜂为单寄生性内寄生蜂(Drost *et al.*, 1999)。阙振炜(2010)研究表明,雌蜂对 1 龄和 2 龄烟粉虱若虫产卵趋向性较好,对烟粉虱 2 龄若虫的寄生率最高,该蜂有时会取食烟粉虱背上的水珠,这可能是寄生蜂很重要的养分来源。

3 天敌之间相互作用

烟粉虱的天敌之间既存在着相互促进又存在着相互抑制的作用。因此,了解天敌之间的相互关系对于优化烟粉虱的生物防治有至关重要的作用。

3.1 捕食性天敌与寄生性天敌之间的交互作用

马丽君等(2018)研究表明,当日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂联合释放时,捕食/寄生功能反应均符合 Holling II 型方程,日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂对烟粉虱的捕食量和寄生量显著增加,控害效果显著提高,均优于释放单种天敌昆虫,从而直接提高了对烟粉虱的控制效果。东亚小花蝽和丽蚜小蜂之间相互作用主要发生在烟粉虱低龄若虫期,东亚小花蝽偏好取食烟粉虱卵和低龄若虫,而丽蚜小蜂对烟粉虱的高龄若虫寄生率较高(劳水兵等,2006),因此在烟粉虱发生初期释放东亚小花蝽,在中后期释放丽蚜小蜂,两种天敌组合处理时可有效分别抑制烟粉虱的卵和若虫(李姝等,2014)。捕食性天敌和寄生蜂对烟粉虱的控制功效互补,具有较高和持效的控害能力,可以充分发挥两者对烟粉虱不同虫态的控制优势,提高防治效果。

李茂海(2017)研究结果表明,胡瓜钝绥螨和海氏桨角蚜小蜂共存时存在一定的竞争作用,寄主密度越低竞争越激烈,随寄主密度的增加竞争则逐渐减弱;二者可权衡捕食与寄生优势,并以此达到对烟粉虱的最佳控制效果,对 1 龄、2 龄烟粉虱若虫的取食量较高,总致死量也最高;同时,当被海氏桨角蚜小蜂寄生的烟粉虱若虫和未

被寄生的若虫共存时,胡瓜钝绥螨对二者的捕食无明显偏好。

在选择试验中,小黑瓢虫的成虫和幼虫以相同的频率捕食含有浅黄恩蚜小蜂卵或幼虫的烟粉虱若虫,或未被寄生的烟粉虱若虫,然而,小黑瓢虫拒绝捕食体内含有浅黄恩蚜小蜂蛹的烟粉虱,笼养试验表明这种捕食性天敌对寄生蜂种群有负面影响,因此不建议联合使用两种天敌(Zang and Liu, 2007)。Tan *et al.* (2016)研究发现,异色瓢虫在与丽蚜小蜂或者浅黄恩蚜小蜂一起释放时表现出了最低的捕食率,还发现异色瓢虫的存在显著的减少了寄生蜂成虫的出现,所以不建议同时释放异色瓢虫与丽蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂其中的一种来控制烟粉虱。

3.2 寄生性天敌种间的交互作用

烟粉虱寄生性天敌之间有相互促进也有相互抑制的作用。寄生性天敌的联合释放是利用 2 种寄生蜂在控制烟粉虱时寻找若虫的不同步性,弥补单一寄生蜂寄生率低等问题来提高对烟粉虱的控制。张晓明等(2018)研究发现,由于海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂寄生烟粉虱若虫的龄期不同,并且以 3:1 和 1:1 的比例混合释放时对烟粉虱的寄生量最高,对烟粉虱能够起到有效的控制效果,但二者以 1:3 比例混合释放时的寄生量最低,说明了找到合适的放蜂比例对烟粉虱的寄生效果尤其重要。Pang *et al.* (2011)研究发现,在同一生境中,浅黄恩蚜小蜂能在短时间内压制丽蚜小蜂的数量,表现出了明显的非对称竞争关系,当烟粉虱若虫同时被这两种寄生蜂寄生时,烟粉虱若虫被寄生的数量均显著低于被单种寄生蜂寄生的数量。相似的研究结果也证明,海氏桨角蚜小蜂和丽蚜小蜂之间存在种内或种间的竞争干扰,两者同时释放后对烟粉虱不能显著增加对烟粉虱的控制效果(邵越等,2019)。据报道,浅黄恩蚜小蜂会使蒙氏桨角蚜小蜂的种群数量急剧减少,并且浅黄恩蚜小蜂通过寄主取食也会减少蒙氏桨角蚜小蜂的子代,因此不建议同时释放这两种寄生蜂(Collier and Hunter, 2001)。

4 问题与展望

目前烟粉虱在田间的防治仍主要以化学防治为主,但是大量杀虫剂的使用不仅导致了烟粉虱抗性的迅速增加,且天敌被大量杀死,类似的问题

题短期内在我国持续存在,甚至可能还会更加突出。然而,随着人们对健康农产品的需求增加,使用绿色的防治方法,如利用天敌昆虫有效控制烟粉虱是未来的发展趋势。现在已经发现并研究了许多烟粉虱的捕食性天敌和寄生性天敌,从这些研究中和使用天敌的实际结果我们可以得出,天敌及其在农业生态系统中的作用是十分重要的;采用分子技术等方法提高分析和识别烟粉虱新天敌(特别是捕食性天敌)的能力,并量化其对烟粉虱种群的影响,为防治烟粉虱提供更安全有效的措施。当使用捕食性天敌和寄生性天敌互作关系的方法对烟粉虱进行生物防治时,不同天敌间会存在资源竞争或者相互促进等相互作用,这种作用会对烟粉虱的生物防治产生一定影响。烟粉虱的天敌种类繁多,但已发现二者之间能够相互促进抑制烟粉虱数量的种类,天敌之间有效的控制烟粉虱方面的研究与开发有待进一步加强。目前为止,烟粉虱在生物防治方面虽然已经取得了不少成绩,但大部分试验是在室内条件下进行的,在温室或大田中成功防治烟粉虱的例子不是很多,都还没能达到有效控制烟粉虱的程度。因此,还需要进一步开展天敌昆虫的利用对大田、温室等主要作物种植和境内对烟粉虱的控制方法的研究和控制效果的评价。我国在人工饲养烟粉虱天敌方面也有着很大的空缺,由于人工繁殖方法费用高,工序较为繁琐,严重制约着烟粉虱天敌昆虫的规模化生产,并且大部分农民不愿意使用这种方法去防治烟粉虱,因此想要大面积推广生物防治的难度较大。总之,调查不够系统深入,测试和证明天敌(尤其是寄生性天敌)的质量和实用性一直是其应用的薄弱环节,在天敌之间的相互作用方面需要进一步的调查与试验,就烟粉虱天敌资源及其防治需求而言,仍有许多工作需要加强。

参考文献 (References)

- Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC. The sweet potato or silverleaf shiteflies: Biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? [J]. *Annual Review of Entomology*, 1995, 40 (1): 511–534.
- Brown JK. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide [J]. *Fao Plant Protection Bulletin*, 1994, 42 (1/2): 3–32.
- Collier TR, Hunter MS. Lethal interference competition in the whitefly parasitoids *Eretmocerus eremicus* and *Encarsia sophia* [J]. *Oecologia (Berlin)*, 2001, 129 (1): 147–154.
- Dai P, Liu LZ, Zang LS, et al. Host feeding and parasitism preference in *Eretmocerus hayati* for nymphs between Q sibling species of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (1): 20–25. [戴鹏, 刘林州, 臧连生, 等. 海氏桨角蚜小蜂对不同龄期 Q 隐种烟粉虱和温室白粉虱的取食和寄生选择 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (1): 20–25]
- Drost YC, Qiu YT, Posthuma – Doodeman CJAM, et al. Life – history and oviposition behaviour of *Amitus bennetti*, a parasitoid of *Bemisia argentifolii* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, 90 (2): 183–189.
- Fu WF, Zhao P, Tao JC. Temporal and spatial relationships among *Bemisia tabaci* and its natural enemies in tomato fields [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2009, 14 (4): 77–83. [付文锋, 赵鹏, 陶金昌, 等. 番茄田烟粉虱与其天敌的时空关系 [J]. 中国农业大学学报, 2009, 14 (4): 77–83]
- Gennadius P. Disease of tobacco plantations in Trikonía: The aleurodid of tobacco [J]. *Ellenike Georgia*, 1889, 6 (5): 1–3.
- Gerling D, Alomar O, Arno J. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids [J]. *Crop Protection*, 2001, 20 (9): 779–799.
- Giorgini M, Baldanza F. Species status of two populations of *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) (Hymenoptera: Aphelinidae) native to different geographic areas [J]. *Biological Control*, 2004, 30 (1): 25–35.
- Guo Y, Liu WX, Wan FH, et al. Parasitism behaviors of *Encarsia formosa* and influence factors [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (2): 180–183. [郭义, 刘万学, 万方浩, 等. 丽蚜小蜂寄生过程中的行为学研究进展 [J]. 中国生物防治, 2007, 23 (2): 180–183]
- Han YH. The Assessment of Several Species of Phytoseiid Mites Fed on *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci* [D]. Hohhot: Mongolia Agricultural University, 2012. [韩玉花. 几种植绥螨对西花蓟马和烟粉虱捕食作用的评价 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012]
- Heimpel GE, Mills N. Biological Control: Ecology and Applications [M]. New York: Cambridge University Press, Cambridge, 2008.
- Heinz K, Brazzle J, Pickett C, et al. Predatory beetle may suppress silverleaf whitefly [J]. *California Agriculture*, 1994, 48 (2): 35–40.
- He S, Wu XY, Zheng JZ, et al. A study of control effect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) on greenhouse tomatoes using parasitoid *Encarsia formosa* Gahan [J]. *Journal of Anhui Agriculture*, 2013, 41 (14): 6244–6245+6248. [何笙, 吴晓云, 郑金竹, 等. 丽蚜小蜂防治设施番茄烟粉虱效果研究 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (14): 6244–6245+6248]
- Huang J, Polaszek A. A review of the Chinese species of *Encarsia* Förster: Parasitoids of whiteflies, scales and aphids (Hemiptera: Aleyrodidae, Diaspididae, Aphidoidea) [J]. *Journal of Natural History*, 1998, 32 (12): 1825–1966.
- Huang J, Zheng QH, Fu JW, et al. Investigation and identification of the whitefly parasitoids (Hymenoptera: Aphelinidae, Platygasteridae)

- [J]. *Entomological Journal of East China*, 2000, 9 (2): 29–33.
- [黄建, 郑琼华, 傅建伟, 等. 粉虱寄生蜂种类的调查与鉴定 [J]. 华东昆虫学报, 2000, 9 (2): 29–33]
- Huang PY. Investigation and Identification of the Whitefly Parasitoids [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forest University, 2002.
- [黄蓬英. 粉虱寄生蜂种类调查与分类鉴定 [D]. 福州: 福建农林大学, 2002]
- Huang Z, Ren SX, Yao SL. Predation of *Axinoscymnus cardilobus* to *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (10): 1928–1932. [黄振, 任顺祥, 姚松林. 淡色斧瓢虫对烟粉虱的捕食作用 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (10): 1928–1932]
- Huang Z, Ren SX, Yao SL. Population control of *Axinoscymnus cardilobus* to *Bemisia tabaci* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 7: 3075–3081. [黄振, 任顺祥, 姚松林. 淡色斧瓢虫 (*Axinoscymnus cardilobus*) 对烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 种群的控制作用 [J]. 生态学报, 2008, 7: 3075–3081]
- Huangfu WG, Dong S, Gao MQ, et al. *Bemisia tabaci* (Gennadius) and its hymenopteran parasitoids in Ningbo, China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (3): 375–379. [皇甫伟国, 董帅, 高明清, 等. 宁波地区烟粉虱及其寄生蜂调查 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32 (3): 375–379]
- Lao SB, Zhang JM, Wang WK. Study on the Control Effect of the *Orius sauteri* and *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* [C]. Beijing: International Symposium on Biodiversity Conservation and Utilization of High and New Technologies, 2006. [劳水兵, 张君明, 王文凯. 东亚小花蝽和丽蚜小蜂对烟粉虱的控制作用研究 [C]. 北京: 生物多样性保护与利用高新技术国际研讨会, 2006]
- Li MH. Evaluation on Combined Control Efficiency and Intraguild Predation between *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (Arcari: Phytoseiid) and *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) (Hymenoptera: Aphelinidae) on *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017. [李茂海. 胡瓜钝绥螨与海氏桨角蚜小蜂对烟粉虱联合控害及集团互作研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017]
- Li S, Lao SB, Wang S, et al. Control effect of *Orius sauteri* collaborated with *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* in the greenhouse [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 978–982. [李姝, 劳水兵, 王甦, 等. 东亚小花蝽和丽蚜小蜂对烟粉虱的协同控制效果研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 978–982]
- Li SJ, Xue X, Muhammad Z, Ahmed, et al. Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China [J]. *Insect Science*, 2011, 18 (1): 101–120.
- Lin KJ, Wu KM, Liu SB, et al. Functional responses of *Chrysopa sinica*, *Propylaea japonica* and *Leis axyridis* to *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43 (3): 339–343. [林克剑, 吴孔明, 刘山蓓, 等. 中华草蛉、龟纹瓢虫和异色瓢虫对 B 型烟粉虱的捕食功能反应 [J]. 昆虫知识, 2006, 43 (3): 339–343]
- Liu S, Wang S, Liu BM, et al. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136–1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136–1145]
- Luo HW. Control effect of *Delphastus catalinae* on natural population of *Bemisia tabaci* [C]. Changchun: 2015 Annual Meeting of Chinese Society for Plant Protection, 2015: 6. [罗宏伟. 小黑瓢虫对烟粉虱自然种群的控制作用 [C]. 长春: 中国植物保护学会 2015 年学术年会, 2015: 6]
- Lǎ ZC, Zhang GF, Wan FH, et al. Detection of predation on *Bemisia tabaci* by using SCAR markers [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 6: 1167–1173. [吕志创, 张桂芬, 万方浩, 等. 天敌对烟粉虱捕食作用的 SCAR 标记检测 [J]. 中国农业科学, 2005, 6: 1167–1173]
- Ma KZ, Hao SG, Zhao HY, et al. Intraguild predation in the insect communities [J]. *Entomological Knowledge*, 2004, 41 (3): 191–197. [马克争, 郝树广, 赵惠燕, 等. 昆虫群落中的集团内捕食作用 [J]. 昆虫知识, 2004, 41 (3): 191–197]
- Ma LJ, Zhang SZ, Liu TX. Influences of interspecific competition between ladybeetle *Serangium japonicum* and parasitoid *Encarsia formosa* on predation of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (6): 1289–1295. [马丽君, 张世泽, 刘同先. 种间竞争对烟粉虱天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂捕食功能反应的影响 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (6): 1289–1295]
- Maihefupiguli ABLMT, Reziwanguli ABDHN, Li J, et al. Observation on response of predacious function and predacious behaviour of *Chrysopa sinica* Tjeder to *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2013, 36 (2): 112–117. [买合甫皮古丽·阿不力米提, 热孜万古丽·阿布都哈尼, 李京, 等. 中华草蛉对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36 (2): 112–117]
- Meng XF, He JH, Liu SS, et al. Parasitoids of *Bemisia tabaci* and their use as biological control agents [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2006, 22 (3): 174–179. [孟祥锋, 何俊华, 刘树生, 等. 烟粉虱的寄生蜂及其应用 [J]. 中国生物防治, 2006, 22 (3): 174–179]
- Miao J, Qiu BL, Ren SX. Effects of the pest–natural enemy ratio on the predatory behavior of *Serangiella sababensis* and *Axinoscymnus apioides* (Coleoptera: Coccinellidae), two predators of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (2): 230–234. [苗静, 邱宝利, 任顺祥. 益害虫比对沙巴拟刀角瓢虫与越南斧瓢虫捕食烟粉虱行为的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32 (2): 230–234]
- Nomikou M, Janssen A, Schraag R, et al. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci* [J]. *Experimental & Applied Acarology*, 2001, 25 (4): 271–291.
- Pang ST, Wang L, Hou YH, et al. Interspecific interference competition between *Encarsia formosa* and *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) in parasitizing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on five tomato varieties [J]. *Insect Science*, 2011,

- 18 (1): 92 – 100.
- Qian MH, Ren SX, Qiu BL. The reproductive model and development of *Encarsia bimaculata* in *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (3): 397 – 401. [钱明惠, 任顺祥, 邱宝利. 双斑恩蚜小蜂的生殖方式及其在烟粉虱体内的发育 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (3): 397 – 401]
- Qiu BL, De Barro PJ, He Y, et al. Suitability of *Bemisia tabaci* instars for the parasitization by *Encarsia bimaculata* and *Eretmocerus* sp. nr. *furushashii* on glabrous and hirsute host plants [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2007, 17: 823 – 839.
- Qiu BL, De Barro PJ, Ren SX. Development, survivorship and reproduction of *Eretmocerus* sp. nr. *furushashii* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on glabrous and non – glabrous host plants [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2005, 95 (4): 313 – 319.
- Qiu BL, Ren SX, Lin L, et al. Species and dynamics of aphelinid parasitoids of *Bemisia tabaci* in Guangdong [J]. *Entomological Knowledge*, 2004, 4: 333 – 335. [邱宝利, 任顺祥, 林莉, 等. 广东省烟粉虱蚜小蜂种类及种群动态调查初报 [J]. 昆虫知识, 2004, 4: 333 – 335]
- Qiu BL, Ren SX, Wu JH. The morphological characters, life habits and parasitizing behavior of *Encarsia bimaculata* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 1: 64 – 67, 1. [邱宝利, 任顺祥, 吴建辉. 双斑恩蚜小蜂形态学特征、生活习性及其寄生行为 [J]. 昆虫知识, 2005, 1: 64 – 67, 1]
- Que XT. Studies on the Control Effect of *Delphastus catalinae* to *Bemisia tabaci* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. [阙晓堂. 小黑瓢虫对烟粉虱控制作用的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012]
- Que ZW. The Growth and Development of *Bemisia tabaci* and *Amitus* sp. on Detached – leaf of Host Plant [D]. Fuzhou: Fujian Agricultural and Forestry University, 2010. [阙振炜. 烟粉虱及细蜂在寄主植物离体叶片上的发育研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2010]
- Ren SX, Huang Z, Yao SL. Progress in studies on predatory natural enemies of *Bemisia tabaci* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2004, 1: 34 – 42. [任顺祥, 黄振, 姚松林. 烟粉虱捕食性天敌研究进展 [J]. 昆虫天敌, 2004, 1: 34 – 42]
- Ren SX, Wang ZZ, Qiu BL, et al. The pest status of *Bemisia tabaci* in China and non – chemical control strategies [J]. *Entomologia Sinica*, 2001, 3: 279 – 288.
- Shao Y, Zhong YW, Li G, et al. Competition of two whitefly parasitoids under microhabitat in plastic houses [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 253 – 258. [邵越, 钟宇巍, 李刚, 等. 大棚微生境下两种烟粉虱寄生蜂的竞争作用 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 253 – 258]
- Tan XL, Hu NN, Zhang F, et al. Mixed release of two parasitoids and a polyphagous ladybird as a potential strategy to control the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 28245.
- Tao JC, Zou YD, Bi SD, et al. Preliminary report on the relative abundance of main pests and natural enemies in cowpea field [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007, 24: 112. [陶金昌, 邹运鼎, 毕守东, 等. 豇豆田主要害虫、天敌相对丰盛度动态初报 [J]. 安徽农学通报, 2007, 24: 112]
- Wang HL, Qin XF, Yu H, et al. Predation of *Orius sauteri* on MEAM1 *Bemisia tabaci* pseudo pupae [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29 (1): 132 – 135. [王洪亮, 秦雪峰, 余昊, 等. 东亚小花蝽对 MEAM1 烟粉虱伪蛹的捕食作用 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29 (1): 132 – 135]
- Wang JH, Luo C, Liu TX, et al. Effects of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype on hostselection and development of *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (6): 687 – 693. [王继红, 罗晨, 刘同先, 等. 烟粉虱生物型对浅黄恩蚜小蜂寄主选择及个体发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (6): 687 – 693]
- Wang LH, Yu H, Wang XJ, et al. Investigation on natural enemies of *Bemisia tabaci* in Henan province [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51 (22): 5053 – 5055. [王刘豪, 余昊, 王秀建, 等. 河南省烟粉虱天敌种类调查 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51 (22): 5053 – 5055]
- Wang XM, Ren SX, Chen XS. A review of the genus *Serangium* Blackburn (Coleoptera, Coccinellidae) from China [J]. *ZooKeys*, 2011, 134: 33 – 63.
- Wu G, Wang DY, Wang XD. Investigation on species of predators of *Bemisia tabaci* Gennadius in the cotton field by SCAR PCR [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48 (2): 223 – 228. [吴刚, 王登元, 王希东. 分子标记检测棉田烟粉虱捕食性天敌种类的研究 [J]. 新疆农业科学, 2011, 48 (2): 223 – 228]
- Wu Q, Huangfu WG, Gao MQ, et al. Newly recorded species of *Eretmocerus* parasitizing the whitefly *Bemisia tabaci* in China [J]. *Entomotaxonomia*, 2009, 31 (4): 310 – 314. [吴琼, 皇甫伟国, 高明清, 等. 寄生烟粉虱的桨角蚜小蜂新记录种 [J]. 昆虫分类学报, 2009, 31 (4): 310 – 314]
- Wu ZY. Screening and Application of Predatory Mites of *Bemisia tabaci* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. [吴子毅. 烟粉虱 *Bemisia tabaci* 天敌捕食螨的筛选与应用研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2009]
- Xu HY, Yang NW, Chi H, et al. Comparison of demographic fitness and biocontrol effectiveness of two parasitoids, *Encarsia sophia* and *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74: 2116 – 2124.
- Xu HY, Yang NW, Wan FH. Female reproductive system and ovary development of two parasitoids of tobacco whitefly [J]. *Science & Technology Review*, 2015, 33 (7): 79 – 83. [徐海云, 杨念婉, 万方浩. 两种烟粉虱寄生蜂的雌性生殖系统结构与卵巢发育特点 [J]. 科技导报, 2015, 33 (7): 79 – 83]
- Xu QH. Effect of Foods on Development and Predation Behaviors of the Mired Bug *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013. [许庆辉. 食物对烟盲蝽的生长发育影响及其捕食行为的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013]
- Yang JY, Sheng FJ, Song ZW, et al. Functional responses of *Amblyseius orientalis* and *A. tsugawai* to eggs and 1st instars of *Bemisia tabaci*

- [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (2): 214 – 219. [杨静逸, 盛福敬, 宋子伟, 等. 东方钝绥螨与津川钝绥螨对烟粉虱卵及 1 龄若虫的功能反应比较 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (2): 214 – 219]
- Yao SL, Ren SX, Huang Z. Study on morphological characteristics and biological characteristics of *Serangium japonicum* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2004, 26 (1): 22 – 27. [姚松林, 任顺祥, 黄振. 日本刀角瓢虫形态特征及生物学特性研究 [J]. 昆虫天敌, 2004, 26 (1): 22 – 27]
- Yao FL, Zheng Y, Ding XL, *et al.* Controlling effect of *Serangium japonicum* on population of *Bemisia tabaci* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (5): 520 – 524. [姚凤奎, 郑宇, 丁雪玲, 等. 日本刀角瓢虫对烟粉虱种群的控制作用评价 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (5): 520 – 524]
- Yu JY, Lan CY, Wu WJ, *et al.* Predation functional response of *Campylomma chinensis* to *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2003, 1: 5 – 7. [余金咏, 蓝超跃, 吴伟坚, 等. 中华微刺盲蝽对烟粉虱的捕食功能反应 [J]. 湖北农学院学报, 2003, 1: 5 – 7]
- Yu Q, Luo CP, Chen B, *et al.* Study on the control efficacy of predatory mites of *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) and *Amblyseius swirskii* against the *Bemisia tabaci* on tobacco plant in green house [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2017, 32 (1): 36 – 43. [余清, 罗春萍, 陈斌, 等. 胡瓜钝绥螨和斯氏钝绥螨对温室烟草上烟粉虱的控制作用研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2017, 32 (1): 36 – 43]
- Zang LS, Liu TX. Intraguild interactions between an oligophagous predator, *Delphastus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae), and a parasitoid, *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae), of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Biological Control*, 2007, 41 (1): 142 – 150.
- Zeng LB, Ma J, Ren SX, *et al.* Functional responses of *Theridion octomaculatum* to *Bemisia tabaci* at different temperature [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2006, 4: 68 – 70. [曾粮斌, 马骏, 任顺祥, 等. 不同温度下八斑球腹蛛对烟粉虱的功能反应研究 [J]. 湖南农业科学, 2006, 4: 68 – 70]
- Zhang XM. Study on Bio – ecological Control Pattern of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Cotton Field [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013. [张晓明. 棉田烟粉虱种群的生物生态调控模式研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013]
- Zhang XM, Xu HY, Yang NW, *et al.* Field cage evaluation of the biocontrol effect of two aphelinid parasitoids on *Bemisia tabaci* Mediterranean (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (6): 1281 – 1288. [张晓明, 徐海云, 杨念婉, 等. 两种蚜小蜂对烟粉虱 MED 隐种的田间笼罩控效评价 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (6): 1281 – 1288]
- Zhang YB, Yang NW, Sun LY, *et al.* Host instar suitability into two invasive whiteflies for the naturally occurring parasitoid *Eretmocerus hayati* in China [J]. *Journal of Pest Science*, 2015, 88 (2): 225 – 234.
- Zhou Y. Chinese Whitefly directory [J]. *Chinese Entomology*, 1949, 3 (4): 1 – 18. [周尧. 中国粉虱名录 [J]. 中国昆虫学, 1949, 3 (4): 1 – 18]
- Zou WH. The Laboratory Rearing and Predatory Capacity of the Predatory Bug, *O. sauteri* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004. [邹卫辉. 东亚小花蝽人工饲养技术及捕食作用的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2004]