

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2014.02.11

利用功能反应模型评价两种寄生蜂混合释放对烟粉虱的防控潜能

王 甦¹, 赵 静^{1,2}, 张 帆^{1*}, 郭晓军¹

(1. 北京市农林科学院, 植物保护环境保护研究所, 北京 100089; 2. 潍坊科技学院, 植物病虫害研究所, 山东寿光 262700)

摘要: 本文以烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的寄生性天敌浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 为研究对象, 在室内研究了不同温度下其单独以及与丽蚜小蜂 *E. formosa* 混合释放对不同密度烟粉虱 3 龄若虫的寄生能力。结果表明: 浅黄恩蚜小蜂在各试验温度下, 无论单独寄生还是与丽蚜小蜂混合释放, 对烟粉虱的寄生均受寄主密度制约, 其寄生的功能反应模型均符合 Holling II 型; 浅黄恩蚜小蜂的瞬间攻击率 (a') 随温度的上升而增加, 而对单头寄主的处置时间 (Th) 均随温度的上升而缩短; 此外, 在各试验温度下浅黄恩蚜小蜂的瞬间攻击率均表现为混合释放大于其单独寄生时, 而对寄主的处置时间均为混合释放短于其单独寄生时。在单独与混合释放中, 浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的搜索效应均随寄主密度的升高而增加; 而在同一寄主密度下, 其搜索效应随温度的上升而增加; 浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合释放对烟粉虱的搜索效应比单独寄生时显著增加。由此可知浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合释放对烟粉虱的寄生效率显著增强, 具有更高的生物防治潜能。

关键词: 浅黄恩蚜小蜂; 丽蚜小蜂; Holling 模型; 搜索效应

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2014) 02-0188-06

Evaluation of potential management of *Bemisia tabaci* by two parasitoids mixed population via functional response model

WANG Su¹, ZHAO Jing², ZHANG Fan^{1*}, GUO Xiao-Jun¹ (1. Institute of Plant & Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Institute of Plant Diseases and Pests, Weifang University of Science & technology, Shouguang, 262700, Shandong Province, China)

Abstract: A parasitoid wasp, *Encarsia sophia* was confirmed as primary target in present study which could parasitize the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* 3rd instar larvae under different environmental temperatures individually and companied with another whitefly specific parasitoid *E. formosa*. The results showed that high fitness with Holling II functional response model of *E. sophia* parasitic capacity in different host densities in various environmental temperatures in both solely and *E. formosa* companied treatments. Based on the formula, the instant attack rate (a') of *E. sophia* represented enhancement, and deceased of host handling duration with the increasing of temperatures. Otherwise, the instant attacking rate of *E. sophia* was higher than the treatments which collaborated with *E. formosa* in all temperatures. Similarly, the searching efficiency of *E. sophia* increased with the increasing of host densities in both individual and collaborated treatments. The searching efficiency of *E. sophia* in each host density increased with the increasing of temperatures. Moreover, the searching efficiencies of *E.*

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (2013CB127605); 北京市农林科学院青年科研基金项目 (z121105002512039); 山东省高等学校科技计划项目 (J13LF54)

作者简介: 王甦, 男, 1978 年生, 汉族, 北京市人, 博士, 研究方向为天敌昆虫生物学生理学研究及释放应用技术

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zf6131@263.net

收稿日期 Received: 2013-06-23; 接受日期 Accepted: 2013-11-29

sophia was higher in individual treatment than collaborating with *E. formosa*. According to our observation, *E. sophia* showed significant higher performance of *B. tabaci* management in higher temperature and collaboration with *E. formosa* which is in the similar niche in practical biological control application.

Key words: *Encarsia Sophia*; *Encarsia Formosa*; Holling model; searching efficiency

烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是一种世界性入侵害虫,不但可以直接为害多种蔬菜等作物,并且能够通过取食传播番茄黄化曲叶病毒 (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 等病原微生物 (Oliveira *et al.*, 2001), 造成更大的经济损失。烟粉虱上世纪 90 年代在我国开始暴发,在此后的 20 年间造成了极为严重的危害。尽管通过使用化学杀虫剂可以暂时减少烟粉虱的虫口密度,但是同时加速了烟粉虱在种下生物型的分化,以及高抗药性的形成 (Prabhaker *et al.*, 1985)。自 21 世纪初开始,人们尝试应用各种天敌昆虫对烟粉虱进行生物防治。其中寄生性天敌中恩蚜小蜂属的种类最多,如丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) 已成功应用于温室蔬菜上烟粉虱的生物防治 (Hoddle *et al.*, 1998)。此外,浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault Dodd) 对烟粉虱的防治也是一种有很好的应用前景的寄生蜂 (李元喜等, 2008)。

大量研究表明,单纯利用某种寄生蜂建立生物防治种群,其防治效率会随着世代数增加而线性降低 (Barbosa, 1998)。而将不同天敌昆虫混合释放,不仅可以间接增加群落的稳定性,而且在提升相同食物链内生物多样性的同时,减少天敌种群的自然衰退 (Heimpel & Mills, 2008)。Malo 等 (2012) 进行了大量同资源种团 (Intra-guild agents) 的研究,但是关于寄生蜂之间以寄主为媒介的竞争关系研究及其对烟粉虱防控效果的评价却鲜见报道。

本文选择蚜小蜂科恩蚜小蜂属的专性寄生蜂浅黄恩蚜小蜂作为研究对象,在室内环境下对其单独和其近似生态位的丽蚜小蜂混合释放时与烟粉虱寄主密度的伴随关系进行研究,并通过拟合 Holling 功能反应方程,评价浅黄恩蚜小蜂在不同温度下单独及混合应用的寄生潜力。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

本实验中所用浅黄恩蚜小蜂、丽蚜小蜂均为

北京市农林科学院植物保护环境保护研究所室内定殖种群。两种寄生蜂分别隔离饲养于不同的养虫笼 (铝合金 + 80 目纱网制, 45.0 cm × 50.0 cm × 50.0 cm) 内,控制虫口密度为 50 - 70 头/笼。寄生蜂定殖及试验所用寄主 B 型烟粉虱采集自北京市昌平区有机蔬菜温室内,室内以番茄 (品种:一品红) 作为寄主植物扩繁。在寄生蜂定殖过程中,每 12 h 向养虫笼内补充带有足量烟粉虱的番茄叶片。实验种群扩繁环境条件由室内温湿度控制系统调控,各参数设置为: 温度 25℃, 湿度 65%, 光照周期 = 16 L : 8 D, 光照强度 = 800 lx。

1.2 不同温度下浅黄恩蚜小蜂对不同密度烟粉虱三龄若虫的寄生

取带有烟粉虱 3 龄若虫的番茄叶片,分别设密度为 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 头处理,将多余的烟粉虱用软尖笔剔除。分别将各处理带有烟粉虱若虫的番茄叶片和一头已交配的浅黄恩蚜小蜂雌成虫同时放于培养皿 (D = 9.0 cm) 中,任其自由寄生 24 h。后将浅黄恩蚜小蜂吸除,利用分子生物学快速检测方法 (Zhang *et al.*, 2013) 对不同密度下烟粉虱的寄生量进行检查,并分析统计。本试验在光照培养箱 (Sanyo - MH351) 内完成,温度处理分别设置为 15, 20, 25, 30, 35℃,其余各项环境参数设置同 1.1。各试验处理重复 10 次。

1.3 不同温度下浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合对不同密度烟粉虱三龄若虫的寄生量

按照上述步骤准备带有不同密度 (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 头) 烟粉虱的番茄叶片,与一头新交配的浅黄恩蚜小蜂雌成虫以及一头丽蚜小蜂雌成虫同时放置于同样规格的培养皿中。其余试验方法与环境参数同 1.2。

1.4 功能反应方程及搜寻效应系数拟合

依据前述试验结果,分别获得浅黄恩蚜小蜂独立以及与丽蚜小蜂混合存在时,在不同温度条件下对不同密度烟粉虱三龄若虫的寄生量,以 Holling II 型功能反应模型为对象进行拟合:

$$N_a = T \times a' N / (1 + a' \times T_h \times N) \quad (1)$$

式中, T_h 为处置时间; T 为试验完成的总时

间 (本试验中为 1 d); a' 为捕食者对猎物的瞬间攻击率; N 为猎物密度, N_a 为被寄生的猎物数量。并通过上式所得参数计算出理论最大寄生量 $N_{a \max} = 1/T_h$ 。

由拟合 Holling II 型功能反应方程所得各参数按照下式计算不同处理下浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱三龄若虫的搜寻效应 S :

$$S = (1 + a' \times T_h \times N) \tag{2}$$

式中各参数意义同式 (1) 所标注内容。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱 3 龄若虫的寄生功能反应

如图 1 所示, 已交配浅黄恩蚜小蜂在本试验所设置的各个温度条件下, 其寄生量均受寄主烟粉虱密度的显著影响 ($F_{15} = 21.371, P_{15} < 0.01$; $F_{20} = 27.448, P_{20} < 0.01$; $F_{25} = 19.638, P_{25} < 0.01$; $F_{30} = 26.107, P_{30} < 0.01$; $F_{35} = 22.535, P_{35} < 0.01$; 所有 $d.f. = 7, 72$)。在同一寄主密度下, 浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生量随着温度的上升而增加。按照式 1 拟合 Holling II 型功能反应方程, 结果显示, 本试验中各温度下浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生均表现为寄主密度制约型, 与 Holling II 型功能反应方程高度拟合 ($R > 0.9$)。经 X^2 检验, 表 1

中不同温度下浅黄恩蚜小蜂的实际寄生量与各密度下按照所拟合方程计算的理论值差异均不显著 ($P > 0.05$)。表 1 说明, 浅黄恩蚜小蜂在寄生烟粉虱时的处置时间, 会随着环境温度的上升而减少; 对烟粉虱的瞬间攻击率会随着温度上升而增加。当寄主密度趋于无穷时, 参数 $1/T_h$ 可以反应出寄生物的理論最大寄生量。在本研究中, 已交配的浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱三龄若虫的最大理论寄生量也同样随着环境温度的上升而增加。

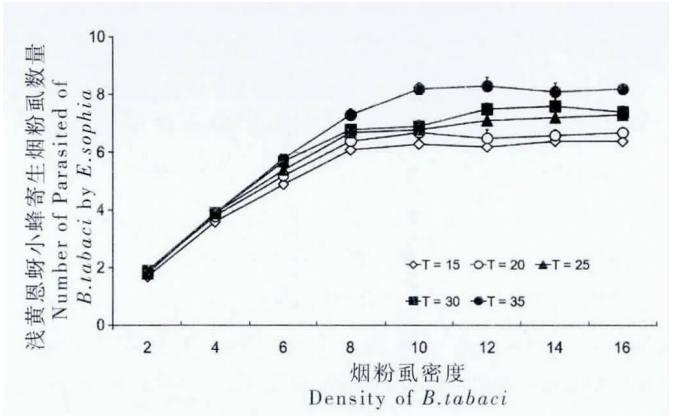


图 1 不同温度条件下浅黄恩蚜小蜂对不同烟粉虱密度的寄生量

Fig. 1 The parasiting amount by mated *Encarsia sophia* female to different density of *Bemisia tabaci* under different temperatures

表 1 不同温度下浅黄恩蚜小蜂雌蜂对烟粉虱三龄若虫的寄生功能反应方程

Table 1 The parasitic functional response formulas of mated *Encarsia sophia* female to *Bemisia tabaci* 3rd instar nymph under different temperatures

温度 (°C)	拟合方程	拟合度	处置时间	瞬间攻击率	理论最大寄生量	卡方值
Temperature	Regressed Formula	R	T_h	a'	$N_{a \max}$	X^2
15	$N_a = 0.98N / (1 + 0.110N)$	0.985	0.113	0.98	7.7	1.476
20	$N_a = 1.14N / (1 + 0.115N)$	0.986	0.098	1.14	10.2	1.933
25	$N_a = 1.16N / (1 + 0.109N)$	0.967	0.094	1.16	10.6	2.011
30	$N_a = 1.22N / (1 + 0.111N)$	0.962	0.091	1.22	10.9	1.864
35	$N_a = 1.36N / (1 + 0.121N)$	0.971	0.089	1.36	11.2	2.757

利用表 1 中所得功能反应模型参数 a' 和 T_h , 按照式 2 拟合得到了浅黄恩蚜小蜂在不同温度下对烟粉虱三龄若虫的搜寻效应系数 S (表 2)。在相同温度条件下, 浅黄恩蚜小蜂对于寄主烟粉虱

的搜索效应均随着寄主密度的上升而增加。而在任意寄主密度下, 浅黄恩蚜小蜂对于烟粉虱三龄若虫的搜索效率均随着环境温度的增加而上升。

表 2 不同温度下浅黄恩蚜小蜂雌蜂对烟粉虱三龄若虫的搜寻效应
Table 2 The searching efficiency of mated *Encarsia sophia* female to *Bemisia tabaci*
3rd instar nymph under different temperatures

温度 (℃) Temperature	烟粉虱密度 Density of <i>Bemisia tabaci</i>							
	2	4	6	8	10	12	14	16
15	1.22	1.44	1.67	1.89	2.1	2.33	2.56	2.78
20	1.23	1.45	1.67	1.91	2.12	2.35	2.56	2.79
25	1.26	1.47	1.72	2.03	2.21	2.42	2.63	2.86
30	1.27	1.53	1.89	2.11	2.34	2.66	2.81	2.93
35	1.31	1.61	1.84	2.13	2.45	2.79	2.96	3.01

2.2 不同温度条件下浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合处理对烟粉虱 3 龄若虫的寄生功能反应

在与丽蚜小蜂同时存在的情况下, 已交配的浅黄恩蚜小蜂在各温度下对烟粉虱的寄生率同样随寄主密度的上升而显著增加 (图 2. $F_{15} = 39.743, P_{15} < 0.01$; $F_{20} = 42.556, P_{20} < 0.01$; $F_{25} = 41.534, P_{25} < 0.01$; $F_{30} = 39.852, P_{30} < 0.01$; $F_{35} = 29.844, P_{35} < 0.01$; 所有 $d.f. = 7, 72$)。在同一寄主密度下, 浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生量也会随着温度的上升而增加。混合种群内浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱密度的寄生功能反应拟合结果如表 3 所示。当两种寄生蜂混合时, 各温度下浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生同样表现为寄主密度制约型, 与 Holling II 型功能反应方程高度拟合 ($R > 0.9$)。经 X^2 检验, 表 3 中不同温度下浅黄恩蚜小蜂的实际寄生量与各密度下按照所拟合方程计算的理论值差异均不显著 ($P > 0.05$)。与浅黄恩蚜小蜂单独处理情况相同, 浅黄恩蚜小蜂在寄生烟粉虱时的处置时间, 也随着环境温度的上升

而减少。与此同时, 其对烟粉虱的瞬间攻击率会随着温度上升而增加。浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱三龄若虫的最大理论寄生量也同样随着环境温度的上升而增加。

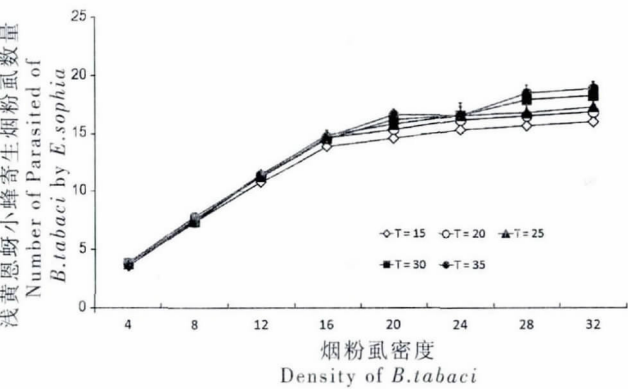


图 2 不同温度条件下浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合处理时对不同密度烟粉虱的寄生量
Fig. 2 The parasiting amount by mated *Encarsia sophia* female companied with *Encarsia formosa* to different density of *Bemisia tabaci* under different temperatures

表 3 不同温度下浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合处理时对烟粉虱的寄生功能反应方程
Table 3 The parasitic functional response formulas of mated *Encarsia sophia* female companied with *Encarsia formosa* to *Bemisia tabaci* 3rd instar nymph under different temperatures.

温度 (℃) Temperature	拟合方程 Regressed Formula	拟合度 R	处置时间 T_h	瞬间攻击率 a'	理论最大寄生量 $N_{a \max}$	卡方值 X^2
15	$N_a = 1.03N / (1 + 0.032N)$	0.988	0.031	1.03	33.3	1.341
20	$N_a = 1.11N / (1 + 0.029N)$	0.989	0.026	1.11	38.5	1.965
25	$N_a = 1.18N / (1 + 0.027N)$	0.981	0.023	1.18	43.4	3.546
30	$N_a = 1.27N / (1 + 0.026N)$	0.9992	0.021	1.27	47.6	2.112
35	$N_a = 1.41N / (1 + 0.023N)$	0.991	0.016	1.41	62.5	3.153

按照表 3 中所示各项功能反应参数计算出不同温度、不同寄主密度下, 浅黄恩蚜小蜂在与丽蚜小蜂同时存在时的搜索效应系数 (表 4)。与浅黄恩蚜小蜂单独寄生时结果相似, 各温度下, 混

合寄生蜂中下浅黄恩蚜小蜂的搜索效应随寄主密度的增加而上升, 同一寄主密度下, 其寄生效率同样随温度的上升而增加。

表 4 不同温度下与丽蚜小蜂混合处理的浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱三龄若虫的搜寻效应
Table 4 The searching efficiency of mated *Encarsia sophia* female accompanied with *Encarsia formosa* to *Bemisia tabaci* 3rd instar nymph under different temperatures

温度 (°C) Temperature	烟粉虱密度 Density of <i>Bemisia tabaci</i>							
	2	4	6	8	10	12	14	16
15	3.46	6.15	8.29	10.05	11.51	12.75	13.8	14.72
20	3.65	6.56	8.93	10.9	12.56	13.98	15.21	16.28
25	3.98	7.21	9.88	12.13	14.05	15.71	17.15	18.42
30	4.17	7.58	10.42	12.82	14.87	16.65	18.21	19.58
35	4.38	8.01	11.02	13.67	15.92	17.88	19.61	21.13

3 结论与讨论

通过拟合功能反应模型, 比较功能反应参数可以直观的了解高营养级的天敌昆虫对靶标害虫的控制潜能。其中, 瞬间攻击率 a' 以及单位靶标处置时间 T_h 可以清晰的反应出天敌昆虫在整个控害过程中的行为策略及控害效率 (Holling, 1966)。在本文中, 浅黄恩蚜小蜂单独寄生烟粉虱和与丽蚜小蜂同时寄生烟粉虱两个处理, 其寄生量均为密度制约型, 即寄生量随寄主密度的上升而上升, 符合 Holling II 型功能反应模型。

在本试验中, 浅黄恩蚜小蜂的寄生能力受环境温度变化影响显著。其寄生效率随温度的上升而增加。在高温下其瞬间攻击率最高, 且寄生处置时间最短, 而此时理论最大寄生量最高。大量类似研究表明, 寄生蜂的寄生效能随温度变化而波动显著。施祖华和刘树生 (1999) 研究发现菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae* 在高温下对小菜蛾 *Plutella xylostella* 的寄生效率要显著高于低温环境, 其产卵寄生的雌蜂比例随温度的升高而增加。同样, 当斜纹夜蛾侧沟茧蜂 *Microplitis* sp. 寄生斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 幼虫时, 其瞬间攻击率随温度上升而增加, 而寄主的处置时间相应减少 (蒋杰贤等, 2002)。这些研究表明, 温度是制约寄生蜂寄生行为的重要因子。较高的瞬间攻击率及较短的寄生处置时间说明寄生蜂的寄生行为随温度上升而显著增加。施祖华等 (1999) 认为寄生蜂

寄生时, 保持静止状态的比例会显著影响功能反应参数的变化。在本试验中, 浅黄恩蚜小蜂在低温状态下有很大的比例是处于静止状态的, 这样的时间区段不能作为搜索和处置时间来归类, 因此这对于温度和寄生蜂寄生效率关系的影响在后续研究中同样值得考虑。此外, 寄生蜂在高温下的优越表现与烟粉虱所处的温室生态系统中高温环境相符合, 因此也从一定程度上表现出其在温室生态系统中防控烟粉虱的潜能。

一直以来, 人们尝试通过混合释放天敌昆虫来增强生物防治功效 (Letourneau *et al.*, 2009)。但是室内研究表明不同天敌昆虫之间由于存在生态重叠以及生态位竞争, 共同释放时所产生的增效作用十分有限。Hagler 等 (2004) 发现多种捕食性天敌混合释放时, 天敌之间会自动调节, 继而分食不同发育阶段的烟粉虱, 从而达到一种相对平衡的状态。Collier & Hunter (2001) 研究发现浅黄恩蚜小蜂与另一种蚜小蜂 *Eretmocerus eremicus* 混合释放时, 两者不但相互影响对方种群的交配繁殖效率, 并且还进一步影响各自对温室粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 的寄生效率以及取食情况。而在本研究中当浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂混合释放时, 浅黄恩蚜小蜂的寄生效率并没有降低, 其对寄主的瞬间攻击率较单独存在时呈现上升的趋势, 且其对单头寄主的处置时间明显减少。可见与相近生态位寄生蜂混合释放后, 浅黄恩蚜小蜂对于烟粉虱的潜在防控能力并没有得到抑制, 相反其为了减少竞争者的影响, 主动提高了对寄主

的寄生能力。而这一变化, 会直接提高其对烟粉虱的防治效果。在本试验中, 我们仅仅在室内考虑了浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂等量组合的效果。而在田间实际应用中, 不同的配比组合是否会进一步增强浅黄恩蚜小蜂的生物防治功效, 还需要进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Barbosa P. Conservation Biological Control [M]. UK: Academy Press, London, 1998.
- Collier TR, Hunter MS. Lethal interference competition in the whitefly parasitoids *Eretmocerus eremicus* and *Encarsia sophia* [J]. *Oecologia*, 2001, 129: 147 – 154.
- Hagler JR, Jackson CG, Rufus I, et al. 2004. Foraging behavior and prey interactions by a guild of predators on various life stages of *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Insect Science*, 4 (1): 1 – 13.
- Heimpel GE, Mills N. Biological Control: Ecology and Applications [M]. UK: Cambridge University Press, Cambridge, 2008.
- Hoddle MS, van Driesche RG, Sanderson JP, 1998. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* [J]. *Annual Review of Entomology*, 43: 645 – 669.
- Holling CS, 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density [J]. *Memories of the Entomological Society of Canada*. 98: 5 – 86.
- Jiang JX, Tang CL, Wang KW, et al. . The influence of temperature on functional response of *Microplitis* sp. to *Spodoptera litura* larvae [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2002, 20 (1): 69 – 72. 阚杰贤, 唐昌林, 王魁武, 等. 温度对斜纹夜蛾侧沟茧蜂功能反应的影响 [J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 2002, 20 (1): 69 – 72
- Letourneau DK, Jedlicka JA, Bothwell SG, et al. Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystem [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2009, 40: 573 – 592.
- Li YX, Luo C, Zhou CQ, et al. Bionomics and host competition of two parasitoids on *Bemisia tabaci* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (7): 738 – 744. 李元喜, 罗晨, 周长青, 等. 烟粉虱两种寄生蜂生物学特性及寄主竞争关系研究 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (7): 738 – 744
- Malo S, Arnó J, Gabarra R. Intraguild interactions between the predator *Macrolophus pygmaeus* and the parasitoid *Eretmocerus mundus*, natural enemies of *Bemisia tabaci* [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2012, 22 (9): 1059 – 1073.
- Oliveira MRV, Henneberry TJ, et al. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci* [J]. *Crop Protection*, 2001, 20 (9): 709 – 723.
- Prabhaker N, Coudriet DL, et al. Insecticide resistance in the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1985, 78 (4): 748 – 752.
- Shi ZH, Liu SS. Influence of temperature on functional response of *Cotesia plutellae* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 (3): 332 – 334. 施祖华, 刘树生. 温度对菜蛾绒茧蜂功能反应的影响 [J]. 应用生态学报, 1999, 10 (3): 332 – 334
- Zhang XM, Xu HX, Wang S, et al. Molecular and iso – enzymatic identification of the nymphal parasitoid, *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) of Whitefly, *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (2): 190 – 197. 张晓曼, 徐红星, 王甦, 等. 分子生物学和同工酶电泳法鉴定烟粉虱幼期寄生蜂浅黄恩蚜小蜂 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (2): 190 – 197