

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.06.21

补充非寄主食物对芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂控害行为权衡的影响

肖悦^{1,2}, 王文霞², 张毅波², 陆书龙², 陶淑霞¹, 刘万学^{2*}

(1. 吉林农业大学农学院, 长春 130118; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要: 芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂均为强卵育型 (synovigenic) 寄生蜂, 成虫具有产卵寄生致死、寄主取食致死和寄主叮蛰直接致死 3 种寄主致死行为。为了明确成虫补充非寄主食物营养对 2 种姬小蜂控害潜力/控害行为的影响, 本文比较研究了分别提供寄主食物和寄主食物 + 非寄主食物 (10% 葡萄糖) 条件下的 2 种姬小蜂在初羽化前期 (前 6 d) 内对美洲斑潜蝇幼虫的致死行为的影响。结果显示: 在仅提供寄主食物时, 芙新姬小蜂的寄生、取食和总体致死量均显著的高于潜蝇姬小蜂, 但是直接致死能力却弱于后者; 补充非寄主食物和仅提供寄主食物处理相比, 两种寄生蜂的寄生量, 取食量和总致死量均呈下降趋势。该研究显示: 在初羽化前期, 取食寄主食物的雌蜂比取食寄主食物 + 葡萄糖的雌蜂具有更强的致死能力。

关键词: 卵育性寄生蜂; 非寄主食物; 寄主致死行为; 寄主取食; 寄主叮蛰

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 06-1231-06

Effect of supplement non-host food on the host-killing behaviors of *Neochrysocharis formosa* (Westwood) and *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophinae)

XIAO Yue^{1,2}, WANG Wen-Xia², ZHANG Yi-Bo², LU Shu-Long², TAO Shu-Xia¹, LIU Wan-Xue^{2*}

(1. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: *Neochrysocharis formosa* (Westwood) and *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophinae) are important synovigenic parasitoids for Agromyzid leafminer, which have three types of host-killing behavior: parasitized host, host feeding, and host stinging. In order to explore the effects of non-host food on the host-killing behaviors of those two parasitoids, we compared the influences of the host-killing behaviors of the newly emerged female *N. formosa* and *D. isaea* when host food and non-host + host food were supplied at the beginning of 6 days, respectively. The results showed that the host-feeding, fecundity and host mortality of *N. formosa* when only host food was supplied were significant higher than those of *D. isaea* in the host food treatment. However, the number of host-only-stinging for *N. formosa* was lower than *D. isaea*. Compared with the host food treatment, the host feeding, fecundity and host mortality of both *N. formosa* and *D. isaea* decreased significantly in the non-host food treatment. In conclusion, the newly emerged female feeding hosts only have stronger lethal capability than those feeding glucose.

Key words: Synovigenic parasitoid; non-host food; host-killing behaviors; host feeding; host stinging

基金项目: 北京市自然科学基金 (6142016); 十二五国家科技支撑计划课题 (2012BAD19B06); 国家重点研发计划项目 (2016YFC1201200)

作者简介: 肖悦, 女, 1991 年生, 硕士生, 研究方向为入侵害虫生物防治, E-mail: xiaoyue199109@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: liuwanxue@caas.cn

收稿日期: 2016-01-15; 接收日期: 2016-03-02

美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 是一种世界性的蔬菜、花卉等经济作物上的一类重要小型害虫,成、幼虫均可受害;雌成虫刺伤植物叶片并进行取食和产卵,尤其是幼虫潜入植物叶片危害,产生不规则白色虫道即“潜道”,影响植物的光合作用,严重降低作物产量甚至绝收(康乐,1996; Kang *et al.*,2007)。在我国,美洲斑潜蝇于1994年在海南省三亚市蔬菜上发现,目前在大陆31省市以及台湾地区均有分布(相君成等,2012),对我国的蔬菜、花卉等经济作物造成了重大损失和严重威胁。

20世纪50年代前,美洲斑潜蝇等潜叶蝇因寄生性天敌种类丰富、自然控制作用强,曾被认为是一类不会导致重大经济损失的小型害虫(Hansson,1985)。但由于农药的频用和滥用,美洲斑潜蝇的自然天敌受到抑制,另外由于美洲斑潜蝇寄主范围广、世代历期短、繁殖力高、“潜道”隐蔽为害、易产生抗药性等特性(Rathman *et al.*,1991;康乐,1996; Kang *et al.*,2007;相君成等,2012),合理利用寄生蜂进行“绿色”防控是目前的首选措施,并已在欧美等发达国家得到了广泛应用(陆庆光,1997;刘万学等,2013)。

芙新姬小蜂 *Neochrysocharis formosa* (Westwood) 和潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea* (Walker) 是美洲斑潜蝇的优势寄生性天敌,对美洲斑潜蝇有很好的生防控制潜力(王伟等,2012;刘万学等,2013)。两种姬小蜂均是典型的寄主取食型(host feeding)寄生蜂,不仅具有产卵寄生的繁殖型控害行为,而且具有寄主取食和寄主叮蛰直接致死的非繁殖型控害行为,非繁殖型控害行为显著增加了其控害潜力(钱景泰等,2005;Hondo *et al.*,2006;Kaspriet *al.*,2011;Zhang *et al.*,2011,2014;Liu *et al.*,2015);另外,2种姬小蜂均是强卵育型(synovigenic)寄生蜂,潜蝇姬小蜂初羽化雌蜂体内几乎无成熟卵子,而芙新姬小蜂具有一定初始抱卵量,雌蜂必须继续取食才能促进卵子发生和成熟(Zhang *et al.*,2011,2014;Liu *et al.*,2014,2015)。卵育程度的不同影响着寄主取食型寄生蜂对寄生和取食行为的抉择,同时在自然条件下,寄主取食型寄生蜂的食物来源不仅包括寄主食物,还有花蜜、甘露、蜜露等非寄主食物(Jervis *et al.*,2008;史树森等,2009),不同营养物质的摄取影响着寄生蜂成

虫的营养补充与分配,改变了寄生蜂的抱卵量和能量储备,进而影响寄生蜂的行为和生防能力(Jervis *et al.*,2008)。目前针对补充营养对寄主取食型寄生蜂的控害行为影响的研究较少,本研究基于2种姬小蜂的控害行为及卵育性特性,比较研究补充非寄主营养物质对寄生蜂的控害行为权衡的影响,比较研究补充寄主食物和寄主食物+非寄主食物对2种卵育程度不同的姬小蜂的控害行为权衡的影响,以期评价寄生蜂的控害效应及田间应用提供指导。

1 材料与方法

1.1 虫源采集及饲养

美洲斑潜蝇采自中国农业科学院试验站菜豆地,在室内用矮生油豆 *Phaseolus vulgaris* 进行长期连代饲养。芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂采自云南省昆明市呈贡县芹菜基地,其寄主为南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis*。在温室内用2龄末-3龄初的美洲斑潜蝇幼虫进行长期连代饲养。温室饲养条件:温度26℃,湿度RH70%±5%,自然光照。

1.2 不同食物种类对两种姬小蜂雌蜂寄主致死行为的影响

为了明确补充非寄主食物对姬小蜂成虫寄主致死行为的影响,2种姬小蜂分别设置提供寄主幼虫和提供寄主幼虫+10%葡萄糖溶液2种处理类型。

提供寄主幼虫的处理的操作过程为:将含有2龄末-3龄初美洲斑潜蝇幼虫(20头左右)的油豆叶片放入培养皿中($\varnothing=9\text{ cm}$, $H=2.2\text{ cm}$),油豆叶柄用蘸满蒸馏水的脱脂棉包住以保持叶片新鲜,培养皿底部放置一张润湿的滤纸($\varnothing=9\text{ cm}$)以保湿;分别将2种姬小蜂的健康活跃初羽化成蜂配对移入培养皿,然后用封口膜将培养皿封好,并用解剖针在封口膜上均匀扎30个孔以保持空气流通。将培养皿移入人工气候箱(26℃,RH70%±5%,L:D=14:10)培养。提供寄主幼虫+10%葡萄糖溶液的处理,即在提供寄主幼虫的处理的基础上,用移液枪在油豆叶片周围均匀点10%葡萄糖溶液液滴约20粒。每天(在人工气候箱亮灯前)更换食物/培养皿。实验持续6d;每处理20个重复。

更换的培养皿继续置于上述的人工气候箱进

行培养。48 h 后, 在解剖镜下观察记录培养皿叶片上斑潜蝇幼虫被寄生蜂的寄生致死数、取食致死数和寄主叮蛰直接致死数。寄生蜂 3 种致死行为结果的判定参考以前的方法 (Liu *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015), 即: 芙新姬小蜂为内寄生蜂, “僵死”的斑潜蝇幼虫体内有寄生蜂幼虫或卵记为寄生致死; 潜蝇姬小蜂为外寄生蜂, “僵死”的斑潜蝇幼虫体表或附近有初孵幼虫或卵记为寄生致死; 寄主取食为寄生蜂利用口器直接将寄主幼虫体内血液和组织液吸食至干瘪, 只剩下一层表皮; 寄主叮蛰的直接致死为寄主幼虫虫体僵硬死亡, 但虫体饱满, 体表常有寄生蜂产卵器穿刺留下的黑点, 且没有寄生蜂的卵或幼虫。

1.3 数据分析

同种寄生蜂在不同食物处理间的致死能力 (包括寄生量、取食量、直接致死量和总致死量) 差异和同种食物处理内不同寄生蜂间致死能力的差异均采用单因素方差分析 (One-way ANOVA + LSD)。所有分析均采用 SAS (9.2 version) 软件。

2 结果与分析

2.1 不同食物源对两种寄生蜂的控害效应及控害行为的影响

不同的营养提供方式对 2 种姬小蜂的控害行

为“权衡”产生了显著影响, 2 种姬小蜂的控害潜力存在种间差异 (表 1 和图 1)。从表 1 的结果来看, 仅提供寄主食物时, 芙新姬小蜂的寄主取食数 ($F_{1,40} = 26.35, P < 0.0001$) 和寄生致死数 ($F_{1,40} = 12.73, P < 0.0001$) 显著高于提供寄主食物 + 非寄主食物的处理, 而直接致死数 ($F_{1,40} = 21.92, P < 0.0001$) 则反之, 总致死量 ($F_{1,40} = 3.89, P = 0.0556$) 则没有显著差异; 在仅提供寄主食物条件下, 潜蝇姬小蜂的寄主取食数 ($F_{1,36} = 5.41, P = 0.0258$)、寄生致死数 ($F_{1,36} = 5.54, P = 0.0242$)、直接致死数 ($F_{1,36} = 10.48, P = 0.0026$) 和总致死数 ($F_{1,36} = 13.31, P = 0.0008$) 均显著高于提供寄主食物 + 非寄主食物的处理。

在仅提供寄主食物的处理中, 芙新姬小蜂的寄主取食数 ($F_{1,37} = 55.30, P < 0.0001$)、寄生致死数 ($F_{1,37} = 98.88, P < 0.0001$) 和总致死数 ($F_{1,37} = 51.09, P < 0.0001$) 均显著高于潜蝇姬小蜂, 而直接质量数却显著小于后者 ($F_{1,37} = 20.37, P < 0.0001$); 在提供寄主食物和非寄主食物的处理中, 芙新姬小蜂的寄主取食致死数 ($F_{1,39} = 13.91, P = 0.0006$)、寄生致死数 ($F_{1,39} = 50.57, P < 0.0001$)、直接致死数 ($F_{1,39} = 10.84, P = 0.0021$) 和总致死数 ($F_{1,39} = 67.26, P < 0.0001$) 均显著大于潜蝇姬小蜂。

表 1 不同食物处理对两种寄生蜂雌蜂的控害行为的影响 (前 6 d)

Table 1 Effects of the host-killing behaviors of two female wasps species during 6 days after emergence in two different treatments

寄生蜂种类 Wasps species	食物处理 Treatments	寄主取食数 No. host feeding events	寄生致死数 No. host-parasitizing	直接致死数 No. host-only-stinging events	总致死数 Host mortality
芙新姬小蜂 <i>N. formosa</i>	寄主 Host food	21.6 ± 0.7 aA	65.5 ± 3.1 aA	20.2 ± 1.6 bB	106.8 ± 2.8 aA
	寄主 + 葡萄糖 Host + glucose	16.0 ± 0.8 bA	48.8 ± 3.5 bA	32.7 ± 2.1 aA	97.5 ± 3.7 aA
潜蝇姬小蜂 <i>D. isaea</i>	寄主 Host food	14.2 ± 0.7 aB	25.5 ± 2.2 aB	33.4 ± 2.5 aA	73.3 ± 3.8 aB
	寄主 + 葡萄糖 Host + glucose	11.9 ± 0.7 bB	17.7 ± 2.5 bB	23.7 ± 1.7 bB	53.3 ± 3.9 bB

注: 同列数据后的不同小写表示同种寄生蜂内不同食物处理间生活史的差异显著, 不同大写字母表示同种食物处理内不同寄生蜂间生活史差异显著。Notes: Different lowercase letter in the same column means there are significant differences between different food treatments in the same species, different capital letter in the same column means there are significant differences between different species in the same food treatment.

2.2 不同食物源对两种寄生蜂控害行为的动态影响

在两种食物处理条件下, 芙新姬小蜂的寄生量 (图 1a)、取食量 (图 1b)、总致死量 (图 1c) 和直接致死能力 (图 1d) 随着寄生蜂年龄的增加均呈缓慢增加的趋势, 但只提供寄主食物时, 增加幅度较大; 类似的, 潜蝇姬小蜂的寄生量 (图 1a)、取食量 (图 1b) 和总致死量 (图 1c) 的变化趋势与芙新姬小蜂一致, 但幅度较低。不同的

是, 在提供非寄主食物时, 潜蝇姬小蜂的直接致死量增幅较大, 并高于仅提供寄主食物的处理。

分别提供两种食物的条件下, 芙新姬小蜂的寄生量、取食量和总致死量均大于潜蝇姬小蜂。然而, 仅提供寄主食物时, 芙新姬小蜂的直接致死量却显著低于潜蝇姬小蜂, 但当添加非寄主食物后, 芙新姬小蜂的直接致死量又会高于潜蝇姬小蜂 (图 1d)。

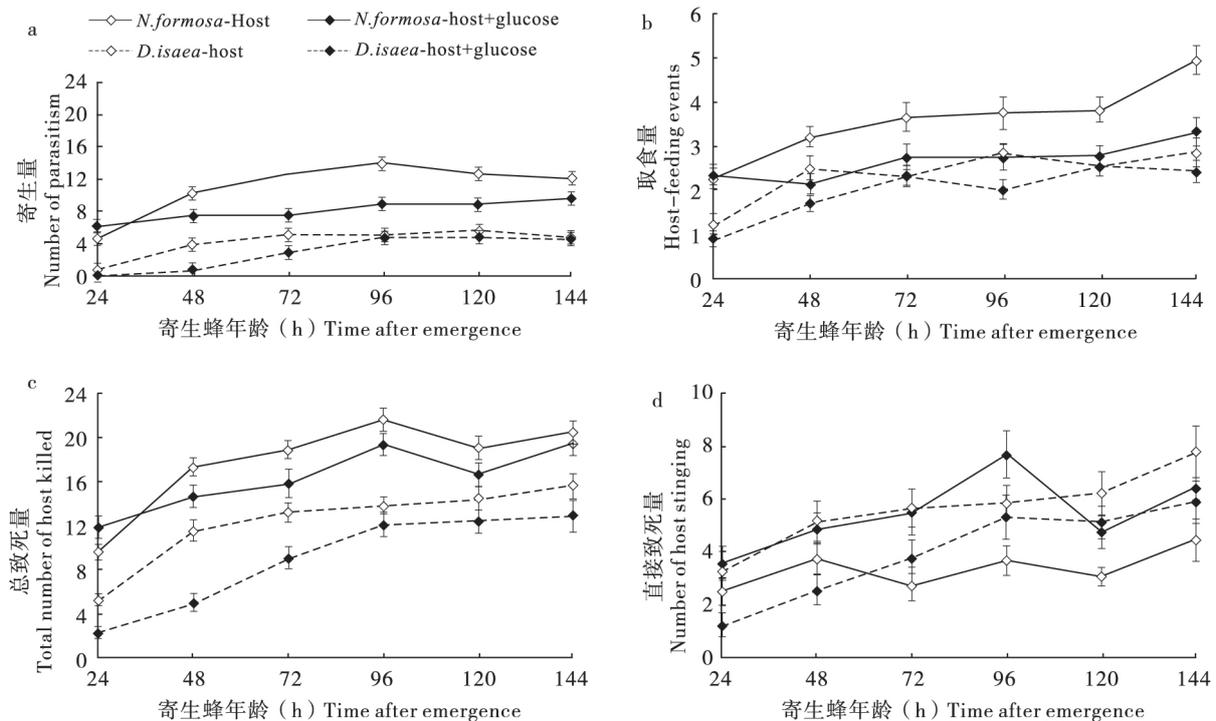


图 1 在两种不同食物处理条件下, 芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂的寄生量 (a), 取食量 (b), 总致死量 (c) 和直接致死量 (d) 的变化趋势

Fig. 1 Dynamics of host parasitized (a), host-feeding events (b), total host mortality (c) and hoststinging (d) of two parasitoids in different food treatments

3 结论与讨论

芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂是斑潜蝇的 2 种主要的优势寄生蜂, 分布广, 控害潜力强 (王伟等, 2012; 刘万学等, 2013), 2 种姬小蜂不仅具有繁殖型 (产卵/寄生) 控害行为, 而且具有非繁殖型 (寄主取食、寄主叮蛰的直接致死) 控害行为。本文的结果和前人的结果 (钱景泰等, 2005; Hondo *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015) 均显示, 这 2 种姬小蜂的非繁殖型控害行为显著增加了寄生蜂的控害潜力;

本实验显示, 在提供寄主食物的处理中, 芙新姬小蜂的非繁殖型致死寄主数占寄生致死数的 64%, 而在提供寄主食物 + 非寄主食物的处理中, 非繁殖型致死寄主数和寄生致死数相当; 潜蝇姬小蜂在分别提供寄主食物和寄主食物 + 非寄主食物的处理中, 其非繁殖型致死寄主数分别占寄生致死数的 65% 和 67%。

芙新姬小蜂和潜蝇姬小蜂均是典型的寄主取食型寄生蜂 (王伟等, 2012; 刘万学等, 2013), 由于寄生蜂成虫期不能原位合成用于雌蜂卵子发生和卵成熟的脂类物质 (Visser *et al.*, 2010), 我们前期的结果也证实如此, 这 2 种姬小蜂需要取

食寄主幼虫和非寄主食物来维持自身存活和繁殖所需要的营养 (Zhang *et al.*, 2011, 2014; Liu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015); 2 种姬小蜂均是强卵育型寄生蜂 (Zhang *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015), 但卵育性 (synovigeny) 程度存在一定的种间差异 (Liu *et al.*, 2014), 芜新姬小蜂初羽化雌蜂卵巢内有几粒成熟卵子, 而潜蝇姬小蜂初羽化雌蜂卵巢内几乎无成熟卵子; 从本研究的雌蜂产卵发生动态 (如首日产卵量) 也印证了这一结论。

由于田间条件下, 雌蜂也可取食非寄主食物 (如花蜜、蜜露等) (Jervis *et al.*, 2008), 补充非寄主食物无疑会对寄主取食型寄生蜂的控害行为产生显著影响。本研究结果显示, 补充葡萄糖后, 相比仅提供寄主食物处理, 两种寄生蜂的寄生量, 取食量和总致死量均呈下降趋势 (表 1 和图 1), 这可能是由于雌蜂增加从非寄主食物中获得了能量物质, 从而减少了从取食寄主幼虫中获取能量物质, 而减少了寄主幼虫取食数也间接降低了雌蜂对产卵所需的脂类物质的获取, 从而减低卵子发生和卵成熟速率; Liu 等 (2015) 也发现, 补充蜂蜜水可以显著降低芜新姬小蜂的日平均取食数和日平均产卵量。有研究发现, 补充非寄主食物可以显著延长芜新姬小蜂雌蜂寿命, 从而显著提升整个成虫期的控害潜力 (Liu *et al.*, 2015); 而本研究显示补充葡萄糖后, 相比仅提供寄主食物处理, 两种姬小蜂的总致死量均呈下降趋势, 这可能主要是因为本实验只持续 6 d 的原因。

随着寄生蜂日龄的增加, 寄生蜂 3 种控害潜力均呈平稳上升趋势 (图 1), 分别在第 4 天和第 5 天达到高峰。因为两种寄生蜂都是典型的卵育型寄生蜂, 寄生蜂随着从外界摄入营养物质随年龄的增加而增加, 进而促进了两种寄生蜂的卵子的发育, 增加了抱卵量, 进而增加寄生蜂的生殖力。

本文的结果亦显示, 在寄生蜂羽化后的前 6 d 的 4 种营养提供方式, 芜新姬小蜂的总控害潜力大于潜蝇姬小蜂, 寄主取食数和寄生致死数前者显著大, 而直接致死数后者显著大; 从 2 种寄生蜂的日平均控害行为, 这也与相关报道 (Zhang *et al.*, 2011, 2014; Liu *et al.*, 2015) 较为一致, 但在最适应温度下, 由于潜蝇姬小蜂的寿命长于芜新姬小蜂, 因此整个成虫期的控害潜力也大于芜新姬小蜂 (Zhang *et al.*, 2014); 从寄生蜂短期释放的控害效应, 可优先采用芜新姬小蜂, 而从

长期持续控害角度, 可以释放潜蝇姬小蜂或同时释放 2 种姬小蜂。尽管 2 种寄生蜂的温度适应范围均广 (王伟等, 2012; 刘万学等, 2013), 但芜新姬小蜂更相对适应高温, 而潜蝇姬小蜂相对更适应稍凉爽的气候 (Hondo *et al.*, 2006), 因此, 可以根据斑潜蝇的发生环境条件, 综合考虑 2 种寄生蜂的联合释放策略。

参考文献 (References)

- Chen XX, He JH, Xv ZH, *et al.* Research and application of parasitoids to suppress *Liriomyza* Flies [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2001, 17 (1): 30–34. [陈学新, 何俊华, 徐志宏, 等. 斑潜蝇寄生性天敌研究和应用概况 [J]. 中国生物防治, 2001, 17 (1): 30–34]
- Hansson C. Taxonomy and biology of the palearctic species of *Chrysocharis* Forster (Hym: Eulophidae) [C]. *Ent. Scand. Suppl.*, 1985, 25: 1–130.
- Hondo T, Koike A, Sugimoto T. Comparison of thermal tolerance of seven native species of parasitoids (Hymenoptera: Eulophidae) as biological control agents against *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in Japan [J]. *Appl. Entomol. Zool.*, 2006, 41 (1): 73–82.
- Jervis MA, Ferns PN. The timing of egg maturation in insects: Oviposition index and initial egg load as measures of fitness and of resource allocation [J]. *Oikos*, 2004, 107 (3): 449–460.
- Jervis MA, Ellers J, Harvey JA. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies [J]. *Annual Review of Entomology*, 2008, 53: 361–385.
- Kang L. Ecology and Management of *Liriomyza* Leafminer [M]. Beijing: Science Press, 1996: 215. [康乐. 斑潜蝇的生态学与控制 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 215]
- Kaspi R, Yuval B, Parrella MP. Anticipated host availability increases parasitoid host attack behavior [J]. *Animal Behaviour*, 2011, 82: 1159–1165.
- Liu WX, Wang WX, Wang W, *et al.* Characteristics and application of *Diglyphus* parasitoids (Hymenoptera: Eulophidae: Eulophinae) in controlling the agromyzid leafminers [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (4): 427–437. [刘万学, 王文霞, 王伟, 等. 潜蝇姬小蜂属寄生蜂对潜叶蝇的控害特性及应用 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (4): 427–437]
- Liu WX, Wang WX, Wang W, *et al.* Research advances in biological characteristics and application of *Hemiptarsenus varicornis* (Girault) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (4): 613–619. [刘万学, 王文霞, 王伟, 等. 异角亨姬小蜂生物学特性及其应用研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (4): 613–619]
- Liu WX, Wang WX, Wang W, *et al.* Research advances on biological characteristics and application of *Chrysocharis pentheus* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae: Eulophinae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (3): 381–389. [刘万学,

- 王文霞, 王伟, 等. 底比斯姬小蜂生物学特性及其应用研究进展 [J]. *环境昆虫学报*, 2013, 35 (3): 381–389
- Liu WX, Wang W, Cheng LS, *et al.* Contrasting patterns of ovarian development and oogenesis in two sympatric host – feeding parasitoids, *Diglyphus isaea* and *Neochrysocharis formosa* (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *Appl. Entomol. Zool.*, 2014, 49: 305–314.
- Liu WX, Wang WX, Zhang YB, *et al.* Adult diet affects the life history and host – killing behavior of a host – feeding parasitoid [J]. *Biological Control*, 2015, 81: 58–64.
- Lu QG. Status about the research and utilization of parasitic wasps against leaf-miners [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 1997, 17 (6): 37–39. [陆庆光. 利用寄生蜂控制斑潜蝇研究进展 [J]. *植保技术与推广*, 1997, 17 (6): 37–39]
- Qian JT, Gu XZ, Zhang SZ. Influence of temperature on the population increase and host-killing capability of *Neochrysocharis formosa* (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *Plant Protection Bullentin*, 2005, 47: 87–101. [钱景泰, 古琇芷, 张淑贞. 温度对华釉小蜂 (膜翅目: 釉小蜂科) 族群增长与致死寄主能力之影响 [J]. *植物保护学会会刊*, 2005, 47: 87–101]
- Rathman RJ, Johnson MN, Tabashnik BE. Production of *Ganaspidium utilis* (Hymenoptera: Eucolidae) for biological control of *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) [J]. *Biological Control*, 1991, 1 (3): 256–260.
- Shi SS, Zang LS, Liu TX, *et al.* Host-feeding behaviors of parasitoids on hosts and implications for biological control [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (4): 424–433. [史树森, 臧连生, 刘同先, 等. 寄生蜂取食寄主特性及其在害虫生物防治中的作用 [J]. *昆虫学报*, 2009, 52 (4): 424–433.]
- Visser B, Lamm CL, den Blanken FJ, *et al.* Loss of lipid synthesis as an evolutionary consequence of a parasitic lifestyle [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107: 8677–8682.
- Wang W, Wang WX, Liu WX, *et al.* Research advances on biological characteristics and application of *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (4): 575–582. [王伟, 王文霞, 刘万学, 等. 美新姬小蜂生物学特性及其应用研究进展. *中国生物防治学报*, 2012, 28 (4): 575–582]
- Xiang JC, Lei ZR, Wang HO, *et al.* Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (5): 1617–1621. [相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等. 三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展 [J]. *生态学报*, 2012, 32 (5): 1617–1621]
- Xiang JC, Lei ZR, Wang HO, *et al.* Influences of temperature on interspecific competition between *Liriomyza sativae* and *L. huidobrensis* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (3): 50–53. [相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等. 温度对美洲斑潜蝇和南美斑潜蝇种间竞争的影响 [J]. *植物保护*, 2012, 38 (3): 50–53]
- Zhang YB, Liu WX, Wan FH, *et al.* Effect of nutritional status on the parasitism and host feeding behavior of *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) females [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (8): 884–890. [张毅波, 刘万学, 万方浩, 等. 营养改变对潜蝇姬小蜂寄生行为和寄主取食行为的影响 [J]. *昆虫学报*, 2010, 53 (8): 884–890]
- Zhang YB, Liu WX, Wang W, *et al.* Lifetime gains and patterns of accumulation and mobilization of nutrients in females of the synovigenic parasitoid, *Diglyphus isaea* Walker (Hymenoptera: Eulophidae), as a function of diet [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2011, 57: 1045–1052.
- Zhang YB, Lu SL, Liu WX, *et al.* Comparing immature development and life history traits in two coexisting host – feeding parasitoids, *Diglyphus isaea* and *Neochrysocharis formosa* (Hymenoptera: Eulophidae) [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13 (12): 2690–2700.