

不同温度对食蚜瘿蚊生长发育和幼虫捕食能力的影响^{*}

林清彩^{**} 陈浩 尹园园 张思聪 于毅 庄乾营 郑礼 翟一凡^{***}

(山东省农业科学院植物保护研究所, 天敌与授粉昆虫研究中心, 济南 250100)

摘要 【目的】明确不同温度对食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) 幼虫生长发育、捕食能力及控蚜效能的影响。【方法】在实验室不同温度条件下, 测定了食蚜瘿蚊从卵到老熟幼虫的发育历期和日捕食量, 并测定了食蚜瘿蚊 3 龄初幼虫的捕食功能反应。【结果】随着温度的升高, 食蚜瘿蚊卵和幼虫发育速度加快, 捕食天数减少, 总捕食量增加, 各温度间的总捕食量差异显著。温度为 22-30 ℃ 时, 食蚜瘿蚊幼虫在第 3-4 天开始捕食蚜虫, 随后的 1-2 d 内日捕食量达到高峰, 随猎物密度增加, 3 龄初幼虫捕食量有明显的逐级上升趋势。每个温度下食蚜瘿蚊幼虫对玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 的捕食功能反应均符合 Holling 型方程, 18-30 ℃ 最大捕食量分别为 30.9、33.0、35.2、48.9 头, 食蚜瘿蚊幼虫瞬时攻击率 26 ℃ 时最高为 0.99, 单头猎物处理时间在 30 ℃ 时最短为 0.02 d。食蚜瘿蚊的控蚜能力 30 ℃ 时最强, 当温度降低时, 其控蚜能力相应减弱。【结论】较高的温度有利于食蚜瘿蚊幼虫的发育、捕食和对蚜虫的控制。

关键词 食蚜瘿蚊; 温度; 日捕食量; 功能反应

Effects of temperature on the development and predation of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) larvae

LIN Qing-Cai^{**} CHEN Hao YIN Yuan-Yuan ZHANG Si-Cong YU Yi
ZHUANG Qian-Ying ZHENG Li ZHAI Yi-Fan^{***}

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Beneficial Insects Research Center, Jinan 250100, China)

Abstract [Objectives] To explore the effects of temperature on the development, predation and biological control potential of *Aphidoletes aphidimyza* larvae. [Methods] The development, predation and predatory functional response were investigated under different temperatures. [Results] Developmental duration and predation decreased with increasing temperature from 18 to 30 ℃. At 22-30 ℃, aphids were first eaten in the 3rd to 4th day of egg production, followed by a peak of predation over the following 1-2 days. There was a significant increase in predation by 3rd instar larvae with increased density at 22-30 ℃. At 18-30 ℃, the functional response of *A. aphidimyza* 3rd instar larvae to *R. maidis* approximated a Holling model, daily maximum numbers of aphids preyed on by *A. aphidimyza* were 30.9, 33.0, 35.2 and 48.9, respectively. The highest instantaneous attack rate was 0.985 at 26 ℃, the shortest handling time was 0.02 d at 30 ℃, and control ability was strongest at 30 ℃. [Conclusion] Higher temperatures speed the development and improve the predatory capacity of *A. aphidimyza*.

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划化学肥料和农药减施增效综合技术研发“天敌昆虫防控技术及产品研发”(2017YFD0201000); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“中美农作物病虫害生物防治关键技术创新合作研究”(YS2017YFGH000664); 泰山产业领军人才工程; 山东省重大科技创新工程“天敌昆虫高效繁育及精准释放关键技术研究示范”(2018CXGC0206)

**第一作者 First author, E-mail: linqingcai@yeah.net

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zyifan@saas.ac.cn

收稿日期 Received: 2018-03-01; 接受日期 Accepted: 2018-07-17

Key words *Aphidoletes aphidimyza*; temperature; daily predation amount; functional response

环境保护、生物多样性、食品安全等国际性问题促使各国政府加大力度限制化学农药的使用,天敌昆虫的扩繁及其利用是害虫可持续综合治理的主要手段之一(万方浩等,1999)。食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) 属双翅目瘿蚊科,是蚜虫的重要捕食性天敌昆虫。食蚜瘿蚊成虫羽化交配后搜寻有蚜虫的地方产卵,同时摄入蜜露以延长寿命(程洪坤等,1988;郭慧娟,2014;Watanabe *et al.*, 2014)。食蚜瘿蚊幼虫开始捕食蚜虫,幼虫期一般 3-8 d。1 龄幼虫个体微小,移动觅食能力差;2-3 龄的幼虫捕食量大,运动能力强;且幼虫的取食量取决于蚜虫的种类、大小和密度,在蚜虫密度大时一头食蚜瘿蚊幼虫一生可以杀死几十头蚜虫(叶长青,1990;谢明等,2000;刘细群和杨茂发,2005;林清彩等,2017)。而且食蚜瘿蚊可以捕食 60 余种蚜虫,是有效控制蚜虫危害的天敌昆虫之一,尤其对设施温室内蚜虫有显著的控制作用,在世界许多国家已经得到普遍应用(Harris, 1973;谢明等,2000;Eizi, 2006)。

在农业生态系统中天敌昆虫可有效控制害虫数量,降低虫害而提高作物产量,但在何种环境条件下才能发挥天敌昆虫的控害潜力,一直是农业害虫防治研究与实践的严峻挑战(阿力甫·那思尔等,2015)。在食蚜瘿蚊的生长发育过程中,温度是一个至关重要的因素,温度过高或过低都会严重影响成虫寿命,使成虫存活时间缩短,并且温度还决定着食蚜瘿蚊幼虫的孵化率,可以说温度影响着食蚜瘿蚊一生各个虫态的发育速率(叶长青,1990)。宫亚军等(2007)研究发现食蚜瘿蚊最适发育温度为 19-23 ℃,31 ℃ 时发育受到明显抑制。张洁等(2008)认为 22-25 ℃ 是食蚜瘿蚊生长发育的最适温度范围,在较低和较高的温度范围内食蚜瘿蚊的生长发育都受到明显抑制,表现为虫体小、羽化率低。本文主要研究不同温度对食蚜瘿蚊捕食能力及功能反应的影响,旨在探究出不同温度对食蚜瘿蚊幼虫控

制蚜虫效能的影响,为合理制定蚜虫的防控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所需要的食蚜瘿蚊幼虫以及玉米蚜,均是由山东省农业科学院植保所天敌与授粉昆虫研究中心提供,利用大麦苗-玉米蚜-食蚜瘿蚊三级营养系统繁育食蚜瘿蚊,饲养环境为(23±1) ℃,相对湿度为 65%-75%,光周期为 L13:D11。

1.2 试验方法

1.2.1 不同温度下食蚜瘿蚊的发育历期和幼虫捕食量 本试验共设定 18、22、26、30 ℃ 4 个恒温处理,湿度 65%±5%,光照 13L:11D。每个处理放置食蚜瘿蚊卵 30 粒,每天定时观察一次,记录其每天的发育进度、死亡率等;卵孵化前一天开始每天给与足量的玉米蚜,统计其每天的捕食量。

1.2.2 不同温度对食蚜瘿蚊幼虫捕食功能反应的影响 本试验共设定 18、22、26、30 ℃ 4 个恒温处理,湿度 65%±5%,光照 13L:11D。试验前挑选足够的食蚜瘿蚊 3 龄初幼虫,禁食 12 h,作供试天敌昆虫。在直径 9 cm 培养皿中分别放置 20、40、60、80 头 4 龄玉米蚜,再将食蚜瘿蚊幼虫放入,24 h 后观察记录培养皿中被猎食蚜虫数量,重复 3 次。

1.3 数据统计与分析

功能反应:用 Holling 型方程拟合, $N_a = a'NT/(1+T_h a'N)$ 。式中 N 为猎物密度, N_a 为被捕食的猎物数量, T 为捕食者可利用发现猎物的时间, a' 为瞬时攻击率, T_h 为对 1 头猎物的处理时间。将 Holling 方程线性化后用最小二乘法求解 a' 、 T_h 的值。

数据用 Excel 2010 处理,利用 SPSS 20.0 for Windows 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度对食蚜瘿蚊发育及幼虫捕食能力的影响

温度在 22-26 ℃ 时卵基本上都能发育到幼虫期, 温度较低 (18 ℃) 或温度较高 (30 ℃) 时会影响食蚜瘿蚊化蛹 (表 1), 而卵和幼虫发育速度随温度升高 (18-30 ℃) 而加快。温度为 18 ℃ 时, 食蚜瘿蚊卵期为 6 d 左右, 第 7 天 1 龄幼虫开始捕食蚜虫, 第 9-10 天发育到 3 龄左右捕食量达到高峰, 两天捕食蚜虫数为 8.16 头。温度为 22 ℃ 时食蚜瘿蚊卵期为 3 d, 在第 4 天 1

龄幼虫开始捕食, 其食量较小只能捕食 2-3 头蚜虫; 随着龄期变大其捕食能力变强, 在第 6 天日捕食量达到高峰, 一天就能捕食 18.03 头玉米蚜。而在 26-30 ℃ 条件下, 食蚜瘿蚊卵期基本为 2 d, 幼虫期 3 d 左右, 并且在成虫产卵 4-5 d (幼虫发育到 3 龄) 时捕食量最大, 一天的捕食量能达到 23.80-27.71 头蚜虫 (图 1)。随着温度的升高食蚜瘿蚊发育速度加快, 捕食天数减少, 幼虫期总捕食量增加, 18-30 ℃ 幼虫期总捕食量分别为 13.08、29.33、32.88、37.42 头玉米蚜, 各温度间的总捕食量差异显著 ($F = 136.91$, $df = 3, 100$, $P < 0.01$) (图 2)。

表 1 不同温度下食蚜瘿蚊发育历期及存活率

Table 1 The development period and survival rate of *Aphidoletes aphidimyza* at different temperatures

温度 (℃) Temperature	卵孵化率 (%) Hatchability	卵期 (d) Egg period	幼虫期 (d) Larva period	化蛹率 (%) Pupation rate
18	86.67	4.03±0.10c	6.31±0.11c	65.38
22	100.00	2.33±0.09b	3.77±0.08b	80.00
26	100.00	2.00±0.00a	3.00±0.00a	96.67
30	100.00	2.00±0.00a	2.87±0.06a	76.67

表中数据为平均值 ± 标准误, 同一列数据后标有不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

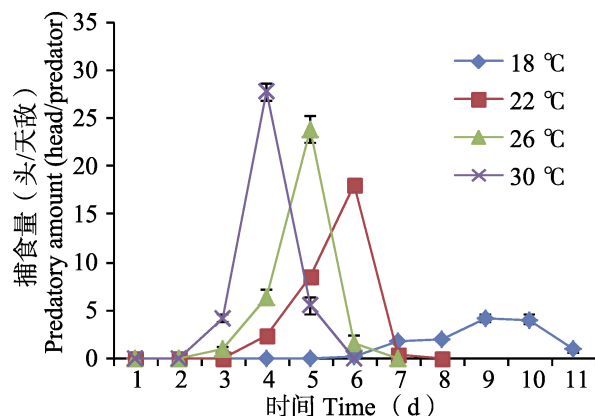


图 1 不同温度下食蚜瘿蚊平均日捕食量

Fig. 1 The predatory amount of *Aphidoletes aphidimyza* at different temperatures

2.2 不同温度和猎物密度对食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食能力的影响

猎物密度为 20 头时, 相邻温度下食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对玉米蚜的捕食量差异较小。猎物密度

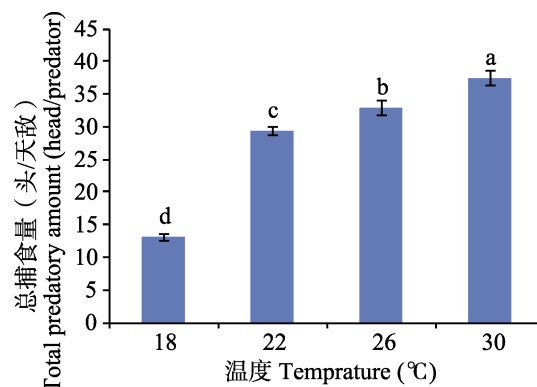


图 2 不同温度下食蚜瘿蚊平均总捕食量

Fig. 2 The total predatory amount of *Aphidoletes aphidimyza* at different temperatures

柱上标有不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level.

为 40 头时, 仅 30 ℃ 处理的食蚜瘿蚊幼虫捕食量显著高于其他温度。其它密度条件下, 各温度

处理间食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食量均存在显著差异。温度为 22-30 ℃ 时,不同猎物密度处理间差异显著,随猎物密度增加,捕食量有明显的逐渐上升趋势;而温度为 18 ℃ 时,仅猎物密度为 20 头时食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食量显著低于其他猎物密度(表 2)。

2.3 食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对玉米蚜的捕食功能反应

利用 Holling 型圆盘方程对食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食玉米蚜情况进行拟合,得到各温度下食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食玉米蚜的功能反应方程及其参数(表 3),相关系数 $R^2 > 0.94$,且 χ^2 值均小于相应自由度下的 $\chi^2_{0.01}(11.35)$,表明拟合效果较理想。食蚜瘿蚊 3 龄幼虫瞬时攻击率在 18 ℃ 时最低,随着温度升高而增长到 26 ℃ 时最高,随后又下降。而天敌处理单头猎物的时间随温度升高而缩短,30 ℃ 时最短为 0.02 d。根据瞬时攻击率(a')和处理时间(T_h)之比可以衡量天敌对害虫的控制能力, a'/T_h 越大,则表示天敌对

害虫的控制能力越强。食蚜瘿蚊的控制能力 30 ℃ 时最强,当温度降低,其控制能力相应减弱。

3 讨论

本研究表明随着温度的升高(18-30 ℃)食蚜瘿蚊卵和幼虫的发育速度加快,而温度较低(18 ℃)或温度较高(30 ℃)时会影响食蚜瘿蚊孵化率和化蛹率,各温度下食蚜瘿蚊的发育历期与宫亚军等(2007)研究结果基本一致。同时,结果显示食蚜瘿蚊幼虫随着龄期的增长其捕食量也明显增加,特别是 2-3 龄幼虫的捕食量占总捕食量的 80%以上。刘细群等(2000)报道食蚜瘿蚊初龄幼虫取食量小,随着虫龄的增加,取食量增大,本研究结果与其一致。试验过程中,温度超过 32 ℃ 时食蚜瘿蚊幼虫和蚜虫均大量死亡,无法完成正常试验,且已有研究表明食蚜瘿蚊在 31 ℃ 恒温下发育受到明显抑制,蛹大部分

表 2 不同温度条件下食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对玉米蚜的日捕食量
Table 2 The daily predatory amount of *Aphidoletes aphidimyza* at different temperatures

温度 () Temperature	玉米蚜密度 (头) Density of <i>R. maidis</i> (ind.)			
	20	40	60	80
18	10.81±0.42cB	15.87±0.27bA	17.00±0.52dA	17.27±0.81cA
22	11.89±0.27bcD	16.28±0.37bC	20.28±0.45cB	24.33±0.50bA
26	12.93±0.49abD	16.56±0.47bC	23.50±0.43bB	25.47±0.71bA
30	13.22±0.53aD	18.50±0.63aC	25.18±0.52aB	32.24±1.03aA

表中数据为平均值 ± 标准误,同一列数据后标有不同小写字母表示相同密度下不同温度间经 Tukey's post-hoc test 检验在 0.05 水平上差异显著;同一行数据后标有不同大写字母表示同一温度下不同密度间在 0.05 水平上差异显著。Data are mean±SE, and followed by the different small letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Tukey's post-hoc test, while followed by the different capital letters in the same line indicate significant difference at the 0.05 level.

表 3 不同温度条件下食蚜瘿蚊 3 龄幼虫捕食功能反应方程及其参数
Table 3 Predatory functional response equation and parameter of *Aphidoletes aphidimyza* prey on *Rhopalosiphum maidis* at different temperatures

温度 () Temperature	功能反应方程 Functional response equation	瞬间攻击率 (a') Instantaneous attack rate	处理时间 (T_h) Handling time	日最大捕食量 ($N_{a \max}$ /头) Maximun amount of daily predation	相关系数 R^2	卡方值 χ^2
18	$N_a=0.77N/(1+0.025N)$	0.77	0.03	30.92	0.99	0.18
22	$N_a=0.91N/(1+0.028N)$	0.91	0.03	33.00	0.98	0.11
26	$N_a=0.99N/(1+0.028N)$	0.99	0.03	35.16	0.94	0.42
30	$N_a=0.88N/(1+0.018N)$	0.88	0.02	48.85	0.96	0.55

不能完成发育(牛玉志等, 1992; 宫亚军等, 2007), 因而本试验设定最高温度(30 ± 1)。

温度不仅影响天敌昆虫的发育速度, 而且影响天敌昆虫的捕食速率及捕食量。高温或低温均会降低中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食量; 较高猎物密度及较高温度有助于增强东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的能力; 温度适中有利于南方小花蝽的捕食, 温度过高或过低对其捕食不利(崔晓宁等, 2011; Messelink *et al.*, 2011; 朱亮等, 2015)。本研究表明随着温度的升高食蚜瘿蚊幼虫捕食量增加, 且较高的温度和蚜虫密度下食蚜瘿蚊幼虫捕食量较大。

几个温度条件下, 食蚜瘿蚊幼虫对玉米蚜的功能反应与 Holling 型高度拟合, 说明温度不改变功能反应模型(符悦冠等, 2007; 莫利锋等, 2013)。但温度可影响其功能反应参数, 功能反应参数的改变会影响食蚜瘿蚊对蚜虫的控制作用, 30℃时食蚜瘿蚊对蚜虫的控制作用最强, 随温度降低其控蚜能力相应减弱。因此了解和掌握不同温度下天敌昆虫的捕食功能反应, 有利于根据温度的变化来预测和掌握天敌昆虫的控蚜能力, 同时也为天敌昆虫的人工繁殖及田间释放提供理论基础(莫利锋等, 2013)。而本研究结果及前人研究(张洁等, 2008; 宫亚军等, 2007)均表明综合食蚜瘿蚊生长发育最适温度为 22-26℃, 温度低于 18℃或高于 30℃时蛹羽化率及卵和幼虫的存活率均降低。在设施内使用食蚜瘿蚊防治蚜虫时, 需要着重考虑温度的影响, 温度过低见效慢, 温度过高也不能起到很好的防治效果, 需要根据实际温度的变化调整食蚜瘿蚊的释放时间和释放量以达到最佳防效。

田间应用时, 食蚜瘿蚊的控蚜作用不仅受温度等环境条件限制, 还会遭受饥饿的考验, 食蚜瘿蚊低龄幼虫饥饿 2 d 死亡率超过 60%(林清彩等, 2017)。Wyss 等(1999)评估食蚜瘿蚊卵及幼虫两种虫态对其防治蚜虫的效果, 在释放两周之后, 不管是卵还是幼虫都具有相同的防蚜效果, 但引入食蚜瘿蚊幼虫时, 蚜虫数量减少的更快。因此可以构建大麦苗-玉米蚜-食蚜瘿蚊载体植物系统, 提前补充食蚜瘿蚊各虫态资源, 当环

境温度较低或蚜虫量较大时, 能快速持续有效的防治温室蚜虫(Hansen, 1983; 沈嘉炜等, 2015)。或者在蚜虫的整个生活史周期采用多元化的天敌昆虫能够有效地防治蚜虫, 但是在增加天敌多样性的同时应慎重考虑天敌间的兼容性, 以实现蚜虫种群进行持续控制(Holland *et al.*, 2008; 唐平华等, 2013)。

参考文献 (References)

- Cheng HK, Wei BC, Tian YQ, 1988. Preliminary study on the biology of *Aphidoletes aphidimyza*. *Plant Protection*, 14(3): 26-27. [程洪坤, 魏炳传, 田毓起, 1988. 食蚜瘿蚊生物学初步研究. 植物保护, 14(3): 26-27.]
- Cui XN, Zhang YL, Shen HM, Zhang XH, 2011. The predatory function of *Amblyseius barkeri* on *Tetranychus truncates*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(6): 575-576. [崔晓宁, 张亚玲, 沈慧敏, 张新虎, 2011. 巴氏钝绥螨对截形叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 38(6): 575-576.]
- Eizi Y, 2006. Ecological considerations for biological control of aphids in protected culture. *Population Ecology*, 48(4): 333-339.
- Fu YG, Geng ZL, Zhang FP, Jin QA, Wu WJ, 2007. Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults. *Chinese Journal of Ecology*, (9): 1397-1401. [符悦冠, 耿召良, 张方平, 金启安, 吴伟坚, 2007. 温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响. 生态学杂志, 26(9): 1397-1401.]
- Gong YJ, Shi BC, Lu H, 2007. A study on the optimum cold storage conditions of *Aphidoletes aphidimyza*. *Plant Protection*, 33(1): 48-50. [宫亚军, 石宝才, 路虹, 2007. 食蚜瘿蚊最佳冷藏条件的研究. 植物保护, 33(1): 48-50.]
- Guo HJ, 2014. Oviposition tactics in response to aphids, intraspecific competition and predation risks in the aphidophagous *Aphidoletes aphidimyza*. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [郭慧娟, 2014. 食蚜瘿蚊应对蚜虫、种内竞争和捕食风险的产卵对策研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Hansen LS, 1983. Introduction of *Aphidoletes aphidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae) from an open rearing unit for the control of aphids in glasshouses. *Bulletin SROP*, 6(3): 146-150.
- Harris KM, 1973. Aphidophagous cecidomyiidae (Diptera): taxonomy, biology and assessments of field populations. *Bulletin of Entomological Research*, 63(2): 305-325.
- Holland J, Oaten H, Southway S, Moreby S, 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biological Control*, 41(1): 71-76.
- Lin QC, Zhai YF, Chen H, Yin YY, Sun M, Yu Y, Zheng L, 2017.

- Predatory capacity of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani). *Chinese Journal of Biological Control*, 33(2): 171–175. [林清彩, 翟一凡, 陈浩, 尹园园, 孙猛, 于毅, 郑礼, 2017. 食蚜瘿蚊捕食能力研究. 中国生物防治学报, 33(2): 171–175.]
- Liu XQ, Yang MF, 2005. Biological characters of *Aphidoletes aphidimyza* in Guizhou province. *Guizhou Agricultural Sciences*, 33(1): 8–9. [刘细群, 杨茂发, 2005. 贵州食蚜瘿蚊生物学特性的初步研究. 贵州农业科学, 33(1): 8–9.]
- Messelink GJ, Bloemhard CM, Cortes JA, Sabelis MW, Janssen A, 2011. Hyperpredation by generalist predatory mites disrupts biological control of aphids by the aphidophagous gall midge *Aphidoletes aphidimyza*. *Biological Control*, 57(3): 246–252.
- Mo LF, Zhi JR, Chen XY, 2013. Effect of temperature on predatory functional responses of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(2): 187–193. [莫利锋, 鄧军锐, 陈祥叶, 2013. 温度对南方小花蝽捕食西花蓟马功能反应的影响. 中国生物防治学报, 29(2): 187–193.]
- Naser A, Hasan A, Meng L, Li BP, 2015. Behavioral responses of predatory insects to *Aphis gossypii* in cotton fields in north Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 877–882. [阿力甫·那思尔, 艾山·阿布都热依木, 孟玲, 李保平, 2015. 北疆棉田捕食性天敌昆虫应对棉蚜的数量反应. 应用昆虫学报, 52(4): 877–882.]
- Niu YZ, Shi BC, Lu H, 1992. Biological characteristics of *Aphidoletes aphidimyza* in Beijing area. Zhu GR, Zhang ZL, Shen CY(eds.). *Control Technical and Advances in Pests and Diseases of Vegetables*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House Press. 259–262. [牛玉志, 石宝才, 路虹, 1992. 北京地区食蚜瘿蚊生物学特性研究. 朱国仁, 张芝利, 沈崇尧. 主要蔬菜病虫害防治技术及研究进展. 北京: 中国农业科技出版社. 259–262.]
- Shen JW, Cai YJ, Zhang WQ, 2015. Construction of a banker plant system for *Diaeretiella rapae* and its control efficiency. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 334–342. [沈嘉伟, 蔡尤俊, 张文庆, 2015. 菜蚜茧蜂载体植物系统的构建及其控害效果. 环境昆虫学报, 37(2): 334–342.]
- Tang PH, Chen GP, Zhu MK, Ren LJ, Hu ZL, 2013. Advances in aphid control technology. *Plant Protection*, 39(2): 5–12, 19. [唐平华, 陈国平, 朱明库, 任丽军, 胡宗利, 2013. 蚜虫防治技术研究进展. 植物保护, 39(2): 5–12, 19.]
- Wan FH, Wang R, Ye ZC, 1999. Prospects of commercial products of insect natural enemies in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 15(3): 40–43. [万方浩, 王韧, 叶正楚, 1999. 我国天敌昆虫产品产业化的前景分析. 中国生物防治, 15(3): 40–43.]
- Watanabe H, Katayama N, Yano E, Sugiyama R, Nishikawa S, Endou T, Ozawa R, 2014. Effects of aphid honeydew sugars on the longevity and fecundity of the aphidophagous gall midge *Aphidoletes aphidimyza*. *Biological Control*, 78: 55–60.
- Wyss E, Villiger M, Müller-Schärer H, 1999. The potential of three native insect predators to control the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*. *BioControl*, 44(2): 171–182.
- Xie M, Cheng HK, Qiu WL, 2000. Evaluation of the expanded breeding system of *Aphidoletes aphidimyza* based on life table analysis. *Acta Entomologica Sinica*, 43(1): 151–155. [谢明, 程洪坤, 邱卫亮, 2000. 应用生命表评价食蚜瘿蚊扩繁系统. 昆虫学报, 43(1): 151–155.]
- Ye CQ, 1990. Research progress on *Aphis gossypii*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 27(3): 181–184. [叶长青, 1990. 食蚜瘿蚊研究进展. 昆虫知识, 27(3): 181–184.]
- Zhang J, Yang MF, Wang LS, 2008. Influence of temperature on the development of *Aphidoletes aphidimyza*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(2): 256–259. [张洁, 杨茂发, 王利爽, 2008. 温度对食蚜瘿蚊生长发育的影响. 昆虫知识, 45(2): 256–259.]
- Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, Shi BC, Wang S, Wei SJ, 2015. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthracoridae). *Journal of Plant Protection*, 42(2): 229–236. [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 石宝才, 王甦, 魏书军, 2015. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响. 植物保护学报, 42(2): 229–236.]