

短期猎物驯化对豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊捕食功能反应的影响^{*}

刘明宏^{1**} 申修贤² 黄纯杨¹ 王雄² 杨茂发^{2,3} 于晓飞^{3***} 商胜华^{4***}

(1. 贵州省烟草公司遵义市公司, 遵义 564200; 2. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025;
3. 贵州大学烟草学院, 贵阳 550025; 4. 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081)

摘 要 【目的】为探究长期以豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* (Matsumura) 饲养的食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) 对目标害虫烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 的防控潜能, 明确在释放食蚜瘿蚊前是否有必要进行短期食物驯化, 以及进行短期食物驯化对其捕食能力的影响。【方法】在实验室条件下, 研究饲喂豌豆修尾蚜和预先饲喂烟蚜的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应。【结果】长期以豌豆修尾蚜和短期以烟蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应均符合 Holling II 型模型, 随着猎物密度的增加呈先增加后趋于平稳的趋势。单因素方差分析表明, 饲喂豌豆修尾蚜和短期饲喂烟蚜的食蚜瘿蚊对烟蚜的日捕食量差异不显著 ($P>0.05$), 长期饲喂豌豆修尾蚜和短期饲喂烟蚜的食蚜瘿蚊对烟蚜的瞬间攻击率分别为 0.170 2 和 0.155 4, 处理猎物时间分别是 0.116 9 d 和 0.107 0 d。单因素方差分析表明, 食蚜瘿蚊自身密度对烟蚜的日均捕食量在长期饲喂豌豆修尾蚜和短期饲喂烟蚜处理间差异不显著 ($P>0.05$)。【结论】以豌豆修尾蚜长期饲养的食蚜瘿蚊, 在释放前不需要针对烟蚜进行短期食物驯化。

关键词 食蚜瘿蚊; 豌豆修尾蚜; 短期食物驯化; 捕食功能反应; 干扰反应

Effect of a short period of adaptive pre-feeding on the predatory functional response of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) reared on *Megoura japonica* (Matsumura)

LIU Ming-Hong^{1**} SHEN Xiu-Xian² HUANG Chun-Yang¹ WANG Xiong²
YANG Mao-Fa^{2,3} YU Xiao-Fei^{3***} SHANG Sheng-Hua^{4***}

(1. Zunyi Tobacco Company of Guizhou Provincial Tobacco Corporation, Zunyi 564200, China;
2. Institute of Entomology, Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. College of Tobacco Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
4. Guizhou Academy of Tobacco Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the potential of using *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) reared on *Megoura japonica* (Matsumura) as a biological control for *Myzus persicae* (Sulzer), and thereby clarify the benefits of conducting short-term prey habituation before releasing aphid gall mosquitoes for biological control purposes. 【Methods】The predatory responses of *A. aphidimyza* feeding on either *M. japonica* or *M. persicae* were measured and compared under laboratory conditions. 【Results】The predatory response of *A. aphidimyza* fed on *M. japonica* for a long period and *M. persicae* for a short period was consistent with a Holling type II model; an initial increase that subsequently levelled off with increasing prey density. A one-way analysis of variance indicates that there was no significant difference in the daily number of prey consumed by *A. aphidimyza*

*资助项目 Supported projects: 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目 (201608); 中国烟草总公司贵州省公司重大科技专项 (201603; 201752010040001); 贵州大学引进人才科研项目 {贵大人基合字[2016]70 号}; 2019 年贵州省农业生产防灾救灾资金 (农作物病虫害防治专项); 贵州省高层次创新型人才 (“百”层次) 培养项目 (黔科合人才[2016]4022 号)

**第一作者 First author, E-mail: zyjszx@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: anjingfly2009@163.com; ssh6688@sina.com

收稿日期 Received: 2020-10-21; 接受日期 Accepted: 2021-09-16

in the two treatment groups ($P > 0.05$). The instant attack rates of each treatment group on *M. japonica* and *M. persicae* were 0.170 2 and 0.155 4, respectively, and their respective prey processing times were 0.116 9 d and 0.107 0 d, respectively. A one-way analysis of variance indicates that the density of *A. aphidimyza* own had no significant ($P > 0.05$) effect on the daily average consumption of *M. persicae*. **[Conclusion]** *A. aphidimyza* raised on *M. japonica* do not require short-term exposure to *M. persicae* before release.

Key words *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani); *Megoura japonica* (Matsumura); short adaptive pre-feeding; predatory functional response; intraspecific interference effect

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 又名桃蚜, 属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 瘤蚜属 *Myzus*, 是烟草上主要的刺吸式害虫。该虫具有繁殖速度快、世代周期短、为害时间长等特点 (袁锋等, 1994; 陈杰等, 2015)。烟蚜是多种病毒病的传播媒介, 且其自身分泌的排泄物可诱发煤污病, 被危害的烟叶不能正常的生长发育, 导致烘烤后的烟叶品质下降, 影响其经济效益 (何应琴等, 2017; 余玲, 2018; 商胜华等, 2019; 张洪志等, 2019; 李磊等, 2020)。利用天敌昆虫防治蚜虫是当前主要的防治措施 (段雪莹等, 2021)。目前, 有效防治烟蚜的天敌为食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani), 隶属双翅目 Diptera 瘿蚊科 Cecidomyiidae, 其幼虫能捕食 80 多种蚜虫 (张洁和杨茂发, 2007; Boulanger *et al.*, 2019; 王秀琴等, 2020)。因食蚜瘿蚊分布广、搜寻能力强, 且繁殖快, 对田间烟蚜的控制效果较理想 (Gilkeson and Hill, 1987; 郭慧娟等, 2015; 商胜华等, 2019; 王秀琴等, 2020)。

然而, 因烟株的生育期长, 使用烟株-烟蚜模式大规模繁殖的食蚜瘿蚊防治烟蚜成本较高, 因此, 寻找一种替代模式繁殖食蚜瘿蚊具有重要意义。采取替代活体猎物规模化繁殖天敌的相关研究较多, 如米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵饲养东亚小花蝽防治瓜蚜 *Aphis gossypii* (杨丽文等, 2014), 麦蛾 *Sitotroga cerealella* 卵繁殖东亚小花蝽防治西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*、玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis*、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (吕兵等, 2018), 柞蚕卵繁殖松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 防治亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (武琳琳等, 2013), 使用黏虫 *Mythimna separata* 幼虫繁殖蠋蝽 *Arma chinensis* 防治其它害虫 (李娇娇等, 2016)。研究表明, 当提供两种猎物时, 天敌偏向选择长期

取食的猎物 (刘文静等, 2011)。

采用胡豆-豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* 模式能够实现大规模繁殖食蚜瘿蚊 (于晓飞等, 2018)。在针对靶标害虫烟蚜进行防治时, 用豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊能否对烟蚜表现出良好的控害效果, 是否需要以靶标害虫进行短期食物驯化, 目前还没有报道。因此, 本研究以豌豆修尾蚜长期饲养的食蚜瘿蚊与烟蚜短期饲喂的食蚜瘿蚊对烟蚜捕食功能反应进行研究, 进而评价替代饲料豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的控害潜能, 以期在实际应用中是否需要在释放前进行短期食物驯化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2020 年 6 月, 烟蚜采自贵州省安顺市平坝区茶场烟草基地, 饲养于贵州大学昆虫研究所人工气候室内, 以烟草 (msK326) 连续饲养多代后供试。

2017 年 5 月, 食蚜瘿蚊采于贵州省遵义市播州区乐山镇烟草基地, 以豌豆修尾蚜长期饲养。并在温度为 (25 ± 0.5) °C、光照周期 14 L: 10 D、相对湿度 70%±5%的人工气候室内建立种群。

1.2 以豌豆修尾蚜饲喂的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应

挑取长期以豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫 1 头, 经饥饿处理 12 h 后分别置于事先准备好的布丁盒内, 挑取 3 龄无翅烟蚜于新鲜烟叶上, 烟蚜密度设置为 10、20、30、40、50 头/盒。然后以不放食蚜瘿蚊作为校正试验。24 h 后于奥维高清工业电子显微镜 AO-HD228S 下检

查并记录被捕食的烟蚜数量。实验于温度 (25 ± 0.5) °C、光照周期 14 L: 10 D、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 的人工气候室中进行。每个处理重复 10 次。

1.3 以短期烟蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应

挑取短期以烟蚜饲养的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫, 经饥饿处理 12 h 后供试, 猎物密度设置和实验条件设置详见 1.2 方法部分的描述。

1.4 以豌豆修尾蚜/烟蚜饲养的食蚜瘿蚊捕食烟蚜的种内干扰

食蚜瘿蚊 (长期饲养豌豆修尾蚜) 的种内干扰: 分别挑取长期以豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫 (处理 A), 经饥饿处理 12 h 后供试。在布丁盒 ($d = 7.5$ cm) 底部放一张湿润的滤纸, 放入一片新鲜的烟叶, 然后挑取 3 龄无翅烟蚜 50 头, 随后分别接入食蚜瘿蚊 3 龄幼虫密度为 1、2、3、4 和 5 头, 5 次重复。24 h 后于奥维斯高清工业电子显微镜下检查并记录被捕食的烟蚜。实验于温度 (25 ± 0.5) °C、光照周期 14 L: 10 D、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 的人工气候室中进行。

食蚜瘿蚊 (短期饲养烟蚜) 的种内干扰: 分别挑取短期饲养烟蚜的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫 (处理 B), 饥饿 12 h 供试。猎物密度设置和实验条件设置同 1.4 (处理 A) 部分的描述。

1.5 数据处理与分析

采用 SPSS 25.0 软件对不同密度下食蚜瘿蚊的捕食量进行单因素方差分析 (Tukey's 检验, $P < 0.05$)。食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量进行 Holling 圆盘方程拟合, Holling II 型功能反应模型: $N_a = aTN / (1 + aT_h N)$ (吴坤君等, 2004), 式中 N_a 为被捕食的猎物数量, a 为瞬时攻击系数, T 为试验总时间 (本试验中 T 为 24 h), N 为猎物的初始密度, T_h 为处理一头猎物的时间。干扰效应 $E = Q^{P-m}$, Q 为寻找常数; P 为食蚜瘿蚊的密度; m 为干扰系数; E 为捕食作用率 (Hassell, 1969)。竞争强度 $I = (E_l - E_p) / E_l$ (邹运鼎等, 1996), I 为分摊竞争强度; E_l 为 1 头天敌的捕食率, E_p 为密度为 P 的天敌捕食率。

2 结果与分析

2.1 食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应

由图 1 可知, 长期以豌豆修尾蚜饲养和短期以烟蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量随着蚜虫密度的增加而增加, 但烟蚜密度增加到一定程度后, 增长趋势趋于平缓; 经单因素方差分析, 不同饲养处理的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对烟蚜的日捕食量差异不显著 ($P > 0.05$); 组内比较, 食蚜瘿蚊在烟蚜密度为 10、40、50 头/盒的捕食量均有显著差异 ($P < 0.05$)。

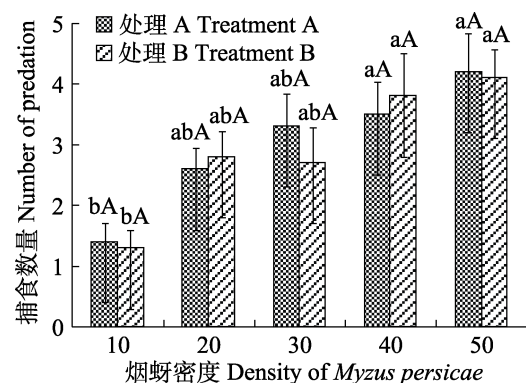


图 1 食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量
Fig. 1 Predation of *Myzus persicae* by *Aphidoletes aphidimyza*

处理 A: 饲养豌豆修尾蚜的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量;

处理 B: 短期驯化的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量。

柱上标有不同大小写字母代表在 0.05 水平下差异显著 (Tukey's 检验)。图 3 同。

Treatment A: The predation of *Myzus persicae* by *Aphidoletes aphidimyza* reared only on *Aphis fabae*;

Treatment B: The predation of *Myzus persicae* by *Aphidoletes aphidimyza* reared on short-term domestication.

Histograms with different letters indicate significant difference in the relative expression levels at the 0.05 level by Tukey's test. The same as Fig. 3.

根据 Holling II 型圆盘方程进行拟合, 结果表明两种处理下, 食蚜瘿蚊与蚜虫密度均具有正相关性 (表 1); 在长期以豌豆修尾蚜饲养和短期以烟蚜饲养条件下, 食蚜瘿蚊处理 1 头烟蚜所需时间 T_h 分别为 0.116 9 d 和 0.107 0 d; 瞬间攻击率 a 分别为 0.170 2, 0.155 4; 以豌豆修尾蚜饲养的最大日捕食量是 8.55 头, 以烟蚜饲养的最大日捕食量 9.35 头。

表 1 两种处理下的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对烟蚜的捕食功能反应

Table1 Functional response of third instar larvae *Aphidoletes aphidimyza* on *Myzus persicae* in two different treatments

处理 Treatment	圆盘方程 Holling discequation	瞬间攻击率 (a) Instant track rate	处理时间 (d) Handling time	最大日食量 Maximum predation	R ²
A	$N_a=0.170\ 2N/(1+0.019\ 9N)$	0.170 2	0.116 9	8.55	0.990 7
B	$N_a=0.155\ 4N/(1+0.016\ 6N)$	0.155 4	0.107 0	9.35	0.956 3

2.2 食蚜瘿蚊对烟蚜的寻找效应

两种处理的食蚜瘿蚊对烟蚜的寻找效应均表现为随着烟蚜的密度增加而降低 (图 2)。烟蚜密度为 40 头/盒之前, 以豌豆修尾蚜饲喂处理的寻找效应高于以烟蚜饲喂处理的寻找效应; 烟蚜密度为 40 头/盒之后, 两种处理的寻找效应差异越来越小。

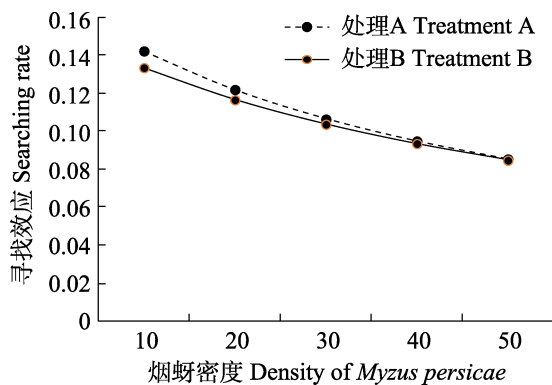


图 2 食蚜瘿蚊对烟蚜的寻找效应

Fig. 2 Searching efficiency of *Aphidoletes aphidimyza* to *Myzus persicae*

2.3 食蚜瘿蚊对烟蚜捕食作用的种内干扰

从图 3 可知, 通过单因素方差分析, 长期以豌豆修尾蚜饲喂和短期以烟蚜饲喂处理间, 食蚜瘿蚊对烟蚜的日捕食量差异不显著 ($P>0.05$);

但是食蚜瘿蚊对烟蚜的总捕食量与自身的密度相关, 随着食蚜瘿蚊密度的增加而显著增加 (图 3)。由表 2 可知, 食蚜瘿蚊对烟蚜的平均日捕食作用率与自身的密度相关, 随着食蚜瘿蚊自身密度的增加而逐渐降低。全程饲喂豌豆修尾蚜的捕食作用率方程为 $E_A = 4.840\ 6P^{-0.238\ 8}$ ($R^2 = 0.989\ 0$), 短期驯化的捕食作用率方程为 $E_B = 5.319\ 8P^{-0.261\ 2}$ ($R^2 = 0.942\ 4$); 其食蚜瘿蚊种内分摊竞争强度随着自身密度的对数值的的增长而增长, 其分摊竞争效应方程 $I_A = 0.429\ 7\log P^{-0.350\ 6}$ ($R^2 = 0.957\ 5$), $I_B = 0.556\ 8\log P^{-0.435\ 0}$ ($R^2 = 0.949\ 2$)。

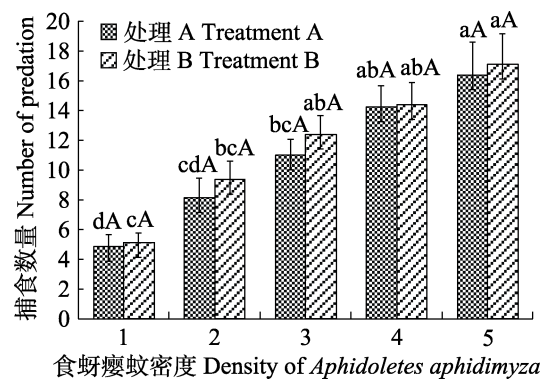


图 3 食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食量

Fig. 3 Predation of *Myzus persicae* by *Aphidoletes aphidimyza*

表 2 食蚜瘿蚊对烟蚜捕食作用的种内干扰

Table 2 Intraspecific interference effects of *Aphidoletes aphidimyza* on *Myzus persicae*

天敌密度 (头/盒) The densities of enemy (ind./case)	捕食量 (头/天敌) Predation (ind./predators)		平均捕食作用率 Average predation rate		分摊竞争强度 Share the competition strength	
	处理 A Treatment A	处理 B Treatment B	处理 A Treatment A	处理 B Treatment B	处理 A Treatment A	处理 B Treatment B
1	4.88	5.13	0.097 6	0.102 6	0.000 0	0.000 0
2	4.06	4.69	0.040 6	0.046 9	0.584 0	0.519 5
3	3.67	4.13	0.024 5	0.027 5	0.749 0	0.718 2
4	3.56	3.59	0.017 8	0.018 0	0.817 6	0.815 6
5	3.28	3.43	0.013 1	0.013 7	0.865 8	0.859 6

3 讨论

本研究比较以豌豆修尾蚜饲养和经过短期烟蚜驯化的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食功能反应, 研究结果表明, 两种处理的食蚜瘿蚊 3 龄幼虫对烟蚜的捕食功能反应均符合 Holling II 型反应模型。其中以豌豆修尾蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的最大理论捕食量为 8.55 头, 短期以烟蚜饲养的食蚜瘿蚊对烟蚜的最大理论捕食量为 9.35 头。在功能反应中, 捕食者对猎物的瞬间攻击率对其生防潜能可起到预测作用, a/T_h 值越大, 表示天敌对害虫的控制能力越强 (唐艺婷等, 2018), 本研究以长期豌豆修尾蚜饲养和经过短期食物驯化的食蚜瘿蚊对烟蚜的瞬间攻击率分别是 0.170 2 和 0.155 4, 处理猎物时间分别是 0.116 9 d 和 0.107 0 d, 说明二者对烟蚜的控制能力差异不显著。

搜寻效应是捕食者在捕食过程中对猎物攻击的一种行为效应 (丁岩钦, 1994), 天敌昆虫的寻找效应常常与猎物密度呈现负相关 (巫鹏翔等, 2016; 唐艺婷等, 2020)。本研究结果表明, 以长期豌豆修尾蚜饲养和短期以烟蚜饲养的食蚜瘿蚊, 随着烟蚜密度的增加, 其相应的寻找效应逐渐下降, 这与多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze)、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*、蠋蝽 *Arma chinensis* (Fallou)、黄玛草蛉 *Mallada basalis* (Walker)、南方小花蝽 *Orius similis* 的寻找效应表现一致 (巫鹏翔等 2016; 李善光等, 2020; 唐艺婷等, 2020; 李子园等, 2021; 孙英等, 2021)。

在实际生产中, 靠自然界中的天敌防治目标害虫是远远不够的, 加上天敌自身的跟随效应, 只有通过人工大规模饲养天敌并投向田间应用, 才能达到理想的防治效果。但是人工饲养天敌, 其饲料和饲养环境往往比较单一, 容易造成对实际生产中目标害虫的控害能力下降的现象, 如狡诈花蝽 *Orius insidiosus* 若虫期用地中海粉斑螟卵饲养, 羽化后的成虫对蚜虫捕食量较少, 而若虫期全程用蚜虫饲养, 羽化后的成虫对蚜虫的捕食量会增加 (Isenhour and Yeorgan, 1981a,

1981b)。但本研究发现, 在食蚜瘿蚊自身密度干扰实验中, 全程饲喂豌豆修尾蚜的食蚜瘿蚊与经过短期食物驯化的食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食能力没有显著性差异, 这可能是替代食物也是蚜虫, 自身的营养物质成分很相近, 其具体原因有待进一步研究。

本研究仅在室内恒温条件下对食蚜瘿蚊幼虫捕食开展的试验观察, 未对羽化后的成虫进行行为学研究以及在田间复杂的实际环境中释放食蚜瘿蚊的田间验证, 有关这部分的内容需进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Boulanger FX, Jandricic S, Bolckmans K, Wackers FL, Peakas A, 2019. Optimizing aphid biocontrol with the predator *Aphidoletes aphidimyza*, based on biology and ecology. *Pest Management Science*, 75(6): 1479–1493.
- Chen J, Fu JG, Yang TP, Zou GJ, Yang Y, Zhang J, Yang J, 2015. The research progress of *Myzus persicae* control in China. *Crops*, (6): 21–26. [陈杰, 付继刚, 杨天沛, 邹光进, 杨颜, 张继, 杨静, 2015. 我国烟蚜防治研究进展. 作物杂志, (6): 21–26.]
- Duan XY, Wang QD, Zhang LZ, Gao F, Zhao ZH, 2021. Research advances in evaluation methods of predator's control of insect pests. *Journal of Plant Protection*, 48(2): 275–288. [段雪莹, 王祎丹, 张乃钊, 高峰, 赵紫华, 2021. 捕食性天敌控害能力评价方法进展. 植物保护学报, 48(2): 275–288.]
- Ding YQ, 1994. *Insect Mathematical Ecology*. Beijing: Science Press. 257–258, 303–304. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 257–258, 303–304.]
- Gilkeson LA, Hill SB, 1987. Release rates for control of green peach aphid (Homoptera: Aphidae) by the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) under winter greenhouse conditions. *Journal of Economic Entomology*, 80(1): 1146–1146.
- Guo HJ, Li BP, Wang YB, Zheng L, Meng L, 2015. Effects of aphid density on lifetime fecundity in *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 31(3): 312–316. [郭慧娟, 李保平, 王玉波, 郑礼, 孟玲, 2015. 蚜虫密度对食蚜瘿蚊终身产卵量的影响. 中国生物防治学报, 31(3): 312–316.]
- Hassell MP, 1969. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham, Berkshire. *The Journal of Animal Ecology*, 38(3): 567–576.
- He YQ, Zeng XY, Cheng Q, Yu YX, Zhang YQ, Ding W, 2017.

- Analysis of feeding characteristics of *Myzus persicae* with different body color. *Journal of Plant Protection*, 44(2): 298–304. [何应琴, 曾贤义, 程浅, 余永旭, 张永强, 丁伟, 2017. 不同体色生物型烟蚜的取食特性分析. 植物保护学报, 44(2): 298–304.]
- Isenhour DJ, Yeagan KV, 1981a. Effect of temperature on the development of *Orius insidiosus*, with notes on laboratory rearing. *Entomological Society of America*, 74(1): 114–116.
- Isenhour DJ, Yeagan KV, 1981b. Predation by *Orius insidiosus* on the soybean thrips, *Sericothrips variabilis*: Effect of prey stage and density. *Environmental Entomology*, 10(4): 496–500.
- Li JJ, Zhang CH, Yi ZJ, Ran XC, Zhang LS, Liu CX, Wang MQ, Chen HY, 2016. The effects of three kinds of prey on the growth, development and reproduction of *Arma chinensis* Fallou. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(5): 553–561. [李娇娇, 张长华, 易忠经, 冉贤传, 张礼生, 刘晨曦, 王孟卿, 陈红印, 2016. 三种猎物对蠃蝽生长发育和繁殖的影响. 中国生物防治学报, 32(5): 553–561.]
- Li L, Long YH, Yin XH, Mo FX, Yu HP, 2020. Screening, identification and biological characteristics of biocontrol fungi against *Myzus persicae*. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 35(3): 415–421. [李磊, 龙友华, 尹显慧, 莫飞旭, 喻会平, 2020. 烟蚜生防菌的筛选、鉴定及生物学特性. 云南农业大学学报(自然科学), 35(3): 415–421.]
- Li SG, Fu BL, Qiu HY, Yang SY, Ma XT, Zhou SH, Tang LD, Zhang FP, Liu K, 2020. The predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripoidae) in the laboratory. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1173–1180. [李善光, 付步礼, 邱海燕, 杨石有, 马晓彤, 周世豪, 唐良德, 张方平, 刘奎, 2020. 六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫的室内捕食作用研究. 应用昆虫学报, 57(5): 1173–1180.]
- Li ZY, Zhou J, Guan YX, Cheng DM, Lu YY, Chen KW, 2021. Functional response of *Mallada basalis* (Walker) (Neuroptera: Chrysopidae) on *Paracoccus marginatus* Williams and *Granara de Willink* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Environmental Entomology*, 43(2): 322–328. [李子园, 周娟, 关迎雪, 程东美, 陆永跃, 陈科伟, 2021. 黄玛草蛉对木瓜粉蚧的捕食作用评价. 环境昆虫学报, 43(2): 322–328.]
- Liu WJ, 2011. Evaluation of the effect of artificially propagated animal feed and high temperature shock on the quality of *Orius sauteri*. Master dissertation. Taian: Shandong Agricultural University. [刘文静, 2011. 人工繁殖动物性饲料和高温冲击对东亚小花蝽质量的影响评价. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Lü B, Sun M, Zhai YF, Chen H, Yu Y, Zheng L, 2018. The effect of short-term food domestication on the predatory function of *Orius sauteri* reared on wheat moth eggs. *Acta Environmental Entomology*, 40(1): 64–69. [吕兵, 孙猛, 翟一凡, 陈浩, 于毅, 郑礼, 2018. 短期食物驯化对麦蛾卵饲养的东亚小花蝽的捕食功能反应影响. 环境昆虫学报, 40(1): 64–69.]
- Sun Y, Hu CX, Wu DH, Chen GH, Yan HH, Xu TY, Chen T, Zhang XM, 2021. Population dynamics of *Orius similis* and *Thrips flavus* and predatory function response. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(3): 451–458. [孙英, 胡昌雄, 吴道慧, 陈国华, 殷红慧, 徐天养, 陈婷, 张晓明, 2021. 南方小花蝽和黄蓟马的种群动态及捕食功能反应. 中国生物防治学报, 37(3): 451–458.]
- Shang SH, Huang CY, Shen XX, Yu XF, Cao Y, Liu MH, Yang MF, 2019. Field control effect of *Aphidoletes aphidimyza* on tobacco *Myzus persicae*. *Guizhou Agriculture Science*, 47(6): 41–44. [商胜华, 黄纯杨, 申修贤, 于晓飞, 曹毅, 刘明宏, 杨茂发, 2019. 食蚜瘿蚊对烟蚜的田间控害效果. 贵州农业科学, 47(6): 41–44.]
- Tang YT, Guo Y, He GW, Liu CX, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ, 2018. Functional responses of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) attacking *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 825–830. [唐艺婷, 郭义, 何国玮, 刘晨曦, 陈红印, 张礼生, 王孟卿, 2018. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 34(6): 825–830.]
- Tang YT, Wang MQ, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2020. Predation of *Arma chinensis* on *Spodoptera litura* larvae. *Chinese Tobacco Science*, 41(1): 62–66. [唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2020. 蠃蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用. 中国烟草科学, 41(1): 62–66.]
- Wang XQ, Ou HD, Yu XF, Gou JY, Liu JF, Shen XX, Liu MH, Yang MF, 2020. Predation ability of the gall midge *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) on tobacco aphid *Myzus persicae* (Sulzer). *Chinese Tobacco Science*, 41(5): 79–86. [王秀琴, 欧后丁, 于晓飞, 苟剑渝, 刘健锋, 申修贤, 刘明宏, 杨茂发, 2020. 食蚜瘿蚊对烟蚜的捕食作用. 中国烟草科学, 41(5): 79–86.]
- Wu LL, Zhao XM, Wang LD, Li QC, Zhou Cao, Xu T, Liu Y, 2013. The effect of preservation methods of tussah silkworm eggs on the reproduction of *Trichogramma dendrolimus*. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (1): 65–67. [武琳琳, 赵秀梅, 王丽达, 李青超, 周超, 徐婷, 刘洋, 2013. 柞蚕卵的保存方式对松毛虫赤眼蜂繁殖的影响. 黑龙江农业科学, (1): 65–67.]
- Wu PX, OuYang HY, Xu Q, Zhang R, He J, Zhang RZ, 2016. Predation of *Paratrioza sinica* Yang & Li by adult *Hippodamia variegata* (Goeze). *Chinese Journal of Applied Entomology*,

- 53(6): 1353–1360. [巫鹏翔, 欧阳浩永, 徐婧, 张蓉, 何嘉, 张润志, 2016. 多异瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用. 应用昆虫学报, 53(6): 1353–1360.]
- Wu KJ, Shen CF, Gong PY, 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应新程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267–269.]
- Yang WL, Zhang F, Zhao J, Li S, Wang G, 2014. The effect of short-term domestication on the functional response of *Orius sauteri* feeding on *Corcyra cephalonica* Stainton of eggs to prey on melon aphid. *Journal of Plant Protection*, 41(6): 705–710. [杨丽文, 张帆, 赵静, 李姝, 王甦, 2014. 短期驯化对米蛾卵饲养的东亚小花蝽捕食瓜蚜功能反应的影响. 植物保护学报, 41(6): 705–710.]
- Yu L, 2018. Study on the control effect of *Myzus persicae* on tobacco field. Master dissertation. Nanchang: Jiangxi Agricultural University. [余玲, 2018. 烟蚜茧蜂对烟田烟蚜控制作用的研究. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学.]
- Yu XF, Han XB, Song DM, Wang XQ, Chen TZ, Tian TA, Yang MF, 2018. Technical regulations for industrialized propagation of *Aphidoletes aphidimyza*. *Guizhou Agriculture Science*, 46(5): 38–40. [于晓飞, 韩小斌, 宋冬梅, 王秀琴, 陈廷智, 田太安, 杨茂发, 2018. 食蚜瘦蚊工厂化繁殖技术规程. 贵州农业科学, 46(5): 38–40.]
- Yuan F, Feng JN, Li MH, 1994. Economic loss of *Myzus persicae*. *Acta Entomologica Sinica*, 37(4): 440–445. [袁锋, 冯纪年, 李茂辉, 1994. 烟蚜为害的经济损失研究. 昆虫学报, 37(4): 440–445.]
- Zhang HZ, Xie YQ, Kong L, Li P, Xiang M, Han ZY, Li YY, Zhang LS, 2019. Potential of leguminous plants for the propagation of *Myzus persicae* and the propagation of *Cotesia myzus*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(6): 821–828. [张洪志, 谢应强, 孔琳, 李萍, 向梅, 韩兆阳, 李玉艳, 张礼生, 2019. 豆科植物繁殖烟蚜及扩繁烟蚜茧蜂的潜力. 中国生物防治学报, 35(6): 821–828.]
- Zhang J, Yang MF, 2007. Study on the predation function of *Aphidoletes aphidimyza* on three species of aphids. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 35(36): 11897–11898. [张洁, 杨茂发, 2007. 食蚜瘦蚊对 3 种蚜虫捕食作用的研究. 安徽农业科学, 35(36): 11897–11898.]
- Zou YD, Gen JG, Chen GC, Meng QL, Wang GM, 1996. The predation of *Harmonia axyridis* nymphs on wheat tridentia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 7(2): 197–200. [邹运鼎, 耿继光, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明, 1996. 异色瓢虫若虫对麦三叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 7(2): 197–200.]