

巩特桀角蚜小蜂对茶树黑刺粉虱的 寄生特性研究*

王枫荻^{1**} 刘梦圆^{1**} 宋大鹏² 贾志飞¹
丁仕波² 许永玉¹ 陈珍珍^{1***}

(1. 山东农业大学植物保护学院昆虫学系, 泰安 271018; 2. 日照市农业科学研究院, 日照 276800)

摘要 【目的】明确山东茶园新发现天敌巩特桀角蚜小蜂 *Eretmocerus gunturiensis* 对茶树黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiuiferus* 的寄生特性, 为茶园害虫新型绿色防控产品研发提供依据。【方法】采用扫网法和黄板法调查桀角蚜小蜂的发生动态, 利用超景深电子显微镜观察巩特桀角蚜小蜂的形态特征和测量被寄生后伪蛹大小, 采用分冠层取样法调查巩特桀角蚜小蜂对黑刺粉虱的寄生特性。【结果】巩特桀角蚜小蜂在自然界中以幼虫寄生黑刺粉虱 2 龄和 3 龄若虫, 雌蜂产卵于黑刺粉虱若虫腹部腹面与叶片之间, 产卵过程大约持续 2 min。成虫羽化时, 用口器咬破黑刺粉虱伪蛹后端的壳, 破口处近圆形不整齐。巩特桀角蚜小蜂的寄生影响黑刺粉虱伪蛹的大小, 被寄生黑刺粉虱伪蛹的长度和宽度均显著短于未被寄生的伪蛹 ($P<0.05$)。在不同的茶丛位置, 巩特桀角蚜小蜂寄生黑刺粉虱的寄生率存在差异, 茶丛中部叶片桀角蚜小蜂的寄生率显著高于茶丛上部和下部。【结论】山东茶园新发现的天敌巩特桀角蚜小蜂对黑刺粉虱具有良好的防控潜能。

关键词 巩特桀角蚜小蜂; 黑刺粉虱; 山东茶园; 寄生行为

Parasitism of *Eretmocerus gunturiensis* on *Aleurocanthus spiuiferus*

WANG Feng-Di^{1**} LIU Meng-Yuan^{1**} SONG Da-Peng² JIA Zhi-Fei¹
DING Shi-Bo² XU Yong-Yu¹ CHEN Zhen-Zhen^{1***}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Rizhao Academy of Agricultural Sciences, Rizhao 276800, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the parasitic behavior of *Eretmocerus gunturiensis*, a newly discovered natural enemy of *Aleurocanthus spiuiferus* in Shandong tea plantations, and provide data to support the research and development of new, environmentally-friendly control methods for tea pests. 【Methods】The population dynamics of *E. gunturiensis* were recorded using the sweep net and yellow sticky-board methods. The morphological characteristics of *E. gunturiensis* were observed using an ultra-depth of field electron microscope and the size of *A. spiuiferus* pseudopupae after parasitism, were measured. The parasitism of *E. gunturiensis* on *A. spiuiferus* was investigated using the canopy sampling method. 【Results】*E. gunturiensis* larvae parasitize 2nd to 3rd instar nymphs of *A. spiniferus*. The laying time of female adults lasts about 2 minutes, and the eggs are laid between the abdomen of *A. spiniferus* and the leaves. *E. gunturiensis* bites the shell at the posterior of the pseudopupa of *A. spiniferus* with its mouthparts during emergence, and resultant hole is round but irregular. Parasitism by *E. gunturiensis* affects the size of *A. spiniferus* pseudopupae. The length and width of parasitized pseudopupae were significantly shorter than those of the non-parasitized pseudopupae. The parasitism rate of *E. gunturiensis* was significantly higher on leaves in the middle of a tea bush than in the upper and lower bush. 【Conclusion】*E. gunturiensis* is a

*资助项目 Supported projects: 山东省茶叶产业技术体系项目 (SDAIT-19-04)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: wangfd335@163.com; lmysdau@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: chenzz0327@163.com

收稿日期 Received: 2022-06-02; 接受日期 Accepted: 2022-06-25

newly discovered natural enemy of *A. spiniferus* in Shandong tea plantations and has the potential to be a useful biological control for this pest.

Key words *Eretmoceris gunturiensis*; *Aleurocanthus spiuiferus*; Shandong tea garden; parasitic behavior

桠角蚜小蜂 *Eretmoceris gunturiensis* 属膜翅目 Hymenoptera 蚜小蜂科 Aphelinidae 桠角蚜小蜂属 *Eretmoceris* (Haldeman), 多数喜寄生烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*, 是粉虱类害虫重要的寄生性天敌(戴鹏等, 2014; Zhang *et al.*, 2020)。黄蓬英和黄建(2004)报道了中国桠角蚜小蜂属 5 个新纪录种, 其中蒙氏桠角蚜小蜂 *E. mundus* 和瑞加桠角蚜小蜂 *E. rajasthanicus* 寄生烟粉虱, 康尼桠角蚜小蜂 *E. corni* 寄生高氏瘤粉虱 *Aleurotuberculatus takahashi*, 长桠角蚜小蜂 *E. longiscapus* 寄生桔粉虱 *Dialeurodes citri*, 巩特桠角蚜小蜂 *E. gunturiensis* 寄生黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiuiferus*, 标本均采自福建。吴琼等(2009)报道了寄生烟粉虱的酋长桠角蚜小蜂 *E. emiratus*、占桥桠角蚜小蜂 *E. ruhashii*、海氏桠角蚜小蜂 *E. hayati* 和刻盾桠角蚜小蜂 *E. sculpturatu*。Goolsby 等(1998)的研究结果显示, 桠角蚜小蜂属的多个种类对多种粉虱在室内和室外都有良好的寄生效果。美国和澳大利亚先后引进了海氏桠角蚜小蜂(Zolnerowich and Rose, 1998), 并在田间和温室内控制烟粉虱(De Barro and Coombs, 2009)。2008 年, 我国引入海氏桠角蚜小蜂防治烟粉虱, 且寄生能力和致死能力强, 适用于大规模引种来防治害虫(邵家斌等, 2010)。近年来, 我国选用丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 对烟粉虱进行生物防治(李青超等, 2022)。此外, 王卫明等(2002)首次发现长跗桠角蚜小蜂 *E. longipe* 对桑粉虱 *Bemisia myricae* 具有较高的寄生率。郭秋等(2015)对古桥桠角蚜小蜂寄生烟粉虱后其发育历期和形态进行了详细的观察, Khanzada(2016)则明确了海氏桠角蚜小蜂交配次数的增加可明显提高其对烟粉虱的寄生能力。但目前有关桠角蚜小蜂对黑刺粉虱寄生行为的研究未有发现。

黑刺粉虱是山东茶园中普遍发生和危害严重的害虫之一, 主要以若虫群集在茶树叶背吸食汁液, 造成树体生长停滞, 落叶量大, 被害处出

现黄白斑点, 并分泌蜜露诱发煤烟病(亓黎, 2008; 韩敏, 2010)。黑刺粉虱大发生时, 在茶树上呈现普遍、拥挤而均匀的分布, 因粉虱和煤菌交替发生, 致使受害茶园叶片漆黑, 光和作用减弱, 生物量降低, 茶园劣变, 品质降低(李品武等, 2011)。黑刺粉虱若虫聚集叶背固着为害, 身体漆黑色, 体躯周围分泌一圈白色蜡质物, 喜欢把蛻皮被在体背上, 药剂不容易穿透导致防治困难, 大量用药还会影响茶叶生产安全。目前已报道黑刺粉虱天敌有刺粉虱黑蜂 *Amitus hesperidum*、长角广腹细蜂 *Amitus longicornis*、粉虱蚜小蜂 *Trichaporus formosus*、黄金蚜小蜂 *Aphytis chrysomphali*(黄建等, 1999; 唐美君, 2001)及捕食性天敌大草蛉 *Chrysopa pallens* 和中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*(唐天成等, 2018)等, 但产业化和大规模利用的天敌资源较少(Cahill *et al.*, 1996; 龙承鹏等, 2017), 且关于其生防应用的研究有限。刘亚男等(2022)发现山东泰安地区有机茶园中的黑刺粉虱优势种天敌为巩特桠角蚜小蜂。因此, 明确巩特桠角蚜小蜂对茶园黑刺粉虱的寄生特性及寄生能力, 可为黑刺粉虱新型绿色防控技术的探索奠定基础, 为茶园安全生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 巩特桠角蚜小蜂形态特征观察

利用自制吸虫器采集茶园巩特桠角蚜小蜂成虫带回实验室, 挑取未受损伤、翅形完整的成虫, 置于 -20℃ 冰箱冷冻 10 min 后取出, 趁其个体饱满放在超景深电子显微镜下拍照并测量长度。

1.2 巩特桠角蚜小蜂田间寄生行为观察

利用相机记录巩特桠角蚜小蜂在茶园的寄生行为, 从巩特桠角蚜小蜂成虫开始降落到叶片上直至寻找到合适的黑刺粉虱若虫并完成产卵

后离开为止,通过记录视频详细描述寄生行为并统计产卵段持续时间。

1.3 巩特桀角蚜小蜂发生动态调查

在茶园设置 5 个调查点,采用扫网法和黄板法每隔 7 d 调查桀角蚜小蜂的发生情况。调查时,采用 5 点取样法对每个调查点的茶丛用 60 目的捕虫网来回扫网,每个点扫网 10 次,记录捕虫网中的桀角蚜小蜂成虫数量。在茶园每个调查点附近悬挂黄板,黄板高度略高于茶蓬表面,每 7 d 更换一次黄板,统计黄板上的桀角蚜小蜂成虫数量。

1.4 巩特桀角蚜小蜂的寄生对黑刺粉虱伪蛹大小的影响

将室外采集的带虫叶片置于解剖镜下观察,挑选桀角蚜小蜂羽化后的黑刺粉虱壳及黑刺粉虱成虫正常羽化后的壳,置于超景深电子显微镜下拍照并测量伪蛹长度和宽度。

1.5 巩特桀角蚜小蜂寄生特性研究

于 2021 年 7 月 8 日和 8 月 5 日,在茶园中选取长势良好、黑刺粉虱和巩特桀角蚜小蜂发生量大的东西走向的茶蓬,在茶蓬的阳面、阴面及茶蓬中间位置,选择上、中、下冠层调查桀角蚜小蜂的寄生率。每茶丛部位选取 50 个叶片,带回实验室,通过镜检观察黑刺粉虱的羽化孔数和桀角蚜小蜂出蜂孔数。

1.6 数据处理与分析方法

采用 SPSS 19.0 进行数据分析处理,采用 t -检验对黑刺粉虱被寄生前后伪蛹的大小进行比较,采用单因素方差分析和 Turkey's 多重比较对巩特桀角蚜小蜂田间寄生率进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 巩特桀角蚜小蜂形态特征

巩特桀角蚜小蜂雌蜂体长 1.64 mm,体宽 0.81 mm,自然条件下未发现雄虫。成虫头、胸、腹及足大部分黄色,翅透明。头部 3 只单眼排成

三角形,位于 1 对复眼中间。曲膝状触角各节均为黄色,棒节不分节,宽扁似船桨。口器为咀嚼式口器,有助于成虫羽化时咬破黑刺粉虱伪蛹壳(图 1: C)。足跗节 4 节,前足胫节末端具有触角清洁器,后足胫节末端具有翅膀清洁器,前跗节两小爪,中间有膜状中垫。产卵器透明外露(图 1: D)。

2.2 巩特桀角蚜小蜂寄生行为

巩特桀角蚜小蜂自然界中以幼虫寄生黑刺粉虱 2 龄和 3 龄若虫。寄生前成虫以身体中点为轴进行旋转,边转边用触角碰触身下的黑刺粉虱若虫,顺时针旋转两圈后再逆时针旋转,直至寻找到合适的寄生位点后用产卵器刺探(黑刺粉虱边缘白色蜡粉薄弱位置)。雌蜂产卵器从蜡粉薄弱部分刺入黑刺粉虱腹部腹面和茶树叶片中间位置,将卵产在黑刺粉虱若虫腹部体外与叶片之间。产卵时间大约持续 2 min,产卵结束后用前足梳理触角。巩特桀角蚜小蜂幼虫孵化后钻入黑刺粉虱若虫体内,取食寄主营养来完成发育,并在黑刺粉虱伪蛹末期羽化而出。

2.3 巩特桀角蚜小蜂茶园发生动态

巩特桀角蚜小蜂发生期出现 3 个高峰期,分别发生在 5 月中下旬,6 月份持续大量发生至 7 月中旬,最后一个小高峰出现在 8 月上旬,之后一直未监测到(图 2)。

2.4 巩特桀角蚜小蜂的寄生对黑刺粉虱伪蛹大小的影响

巩特桀角蚜小蜂成虫羽化时,先用口器咬破黑刺粉虱伪蛹后端的壳,破口处近圆形不整齐(图 3: A, B)。黑刺粉虱成虫羽化则在伪蛹的前端呈“T”字形开口(图 3: C, D)。

巩特桀角蚜小蜂的寄生影响黑刺粉虱伪蛹的大小(图 5)。被寄生的黑刺粉虱伪蛹长(0.472 ± 0.012) mm,极显著短于未被寄生的伪蛹长(0.556 ± 0.015) mm ($t=4.35$, $df=36$, $P<0.001$)。被寄生的黑刺粉虱伪蛹宽(0.294 ± 0.009) mm,显著短于未被寄生的伪蛹宽(0.328 ± 0.015) mm ($t=2.23$, $df=36$, $P=0.032$)。

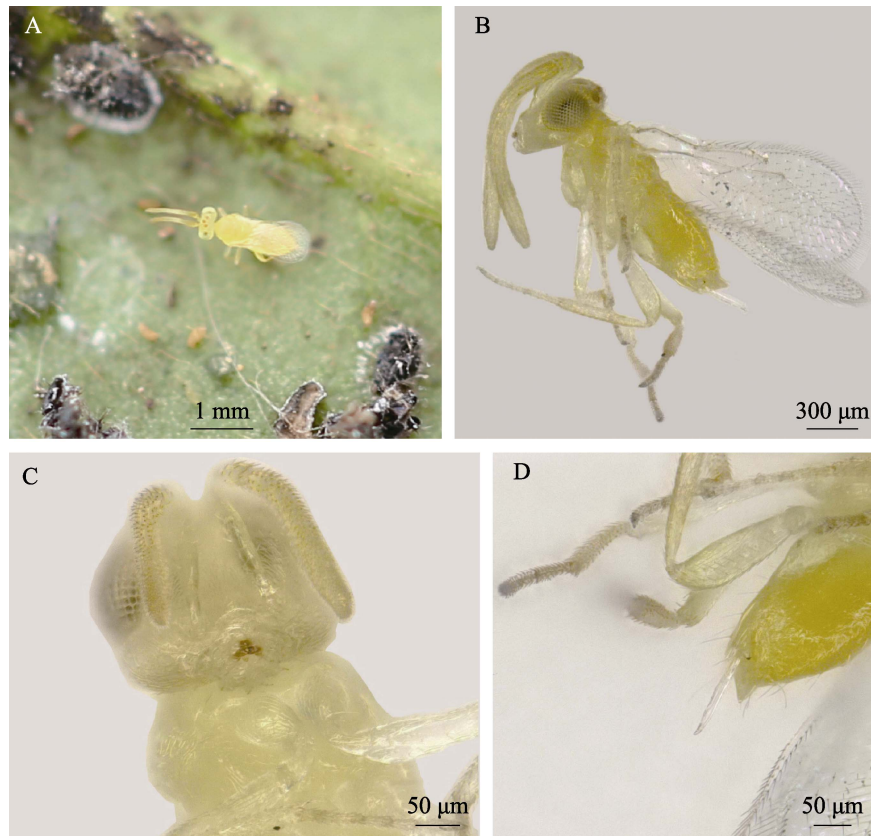


图 1 巩特桨角蚜小蜂的形态特征

Fig. 1 The morphological characteristics of *Eretmocerus gunturiensis*

A. 巩特桨角蚜小蜂在茶园中形态特征; B. 巩特桨角蚜小蜂在超景深电子显微镜中形态特征;
C. 巩特桨角蚜小蜂成虫口器; D. 巩特桨角蚜小蜂雌性外生殖器。

A. Morphological characteristics of *E. gunturiensis* in the tea garden; B. Morphological characteristics of *E. gunturiensis* in the depth of field electron microscope; C. Mouthparts of aphid wasps; D. The female external genitalia of *E. gunturiensis*.

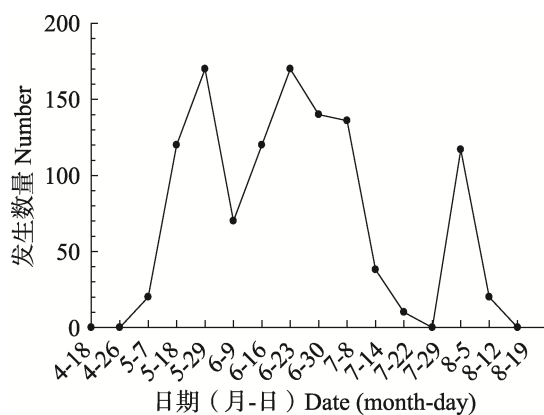


图 2 巩特桨角蚜小蜂发生动态

Fig. 2 Dynamics of the occurrence of *Eretmocerus gunturiensis*

2.5 巩特桨角蚜小蜂在茶丛不同位置的寄生率

7 月份巩特巩特桨角蚜小蜂寄生黑刺粉虱的

寄生率在不同的茶丛位置有一定的区别 (表 1)。茶丛阳面的中部叶片, 巩特桨角蚜小蜂的寄生率显著高于上部叶片和下部叶片 ($F_{2,12}=20.415$, $P<0.001$), 上部叶片和下部叶片间则无显著性差异 ($F_{2,12}=20.415$, $P=0.310$)。茶丛中间中部叶片寄生率显著高于上部叶片 ($F_{2,12}=3.751$, $P=0.044$), 但下部叶片的寄生率与中部叶片和上部叶片的寄生率均无显著性差异 ($F_{2,12}=3.751$, $P=0.353$; $P=0.423$)。茶丛阴面巩特桨角蚜小蜂寄生率中部叶片和下部叶片均显著高于上部叶片 ($F_{2,12}=9.914$, $P=0.009$; $P=0.004$), 中部叶片和下部叶片间寄生率无显著性差异 ($F_{2,12}=9.914$, $P=0.891$)。不同茶丛部方位间的比较, 除中部叶片阳面的寄生率显著高于茶丛阴面 ($F_{2,12}=10.158$, $P=0.014$) 和茶丛中间外 ($F_{2,12}=10.158$, $P=$



图 3 玳特桉角蚜小蜂在黑刺粉虱上的出蜂孔 (A, B) 和黑刺粉虱羽化孔 (C, D)

Fig. 3 The emergence hole of *Eretmocerus gunturiensis* (A and B) and *Aleurocanthus spiniferus* (C and D)

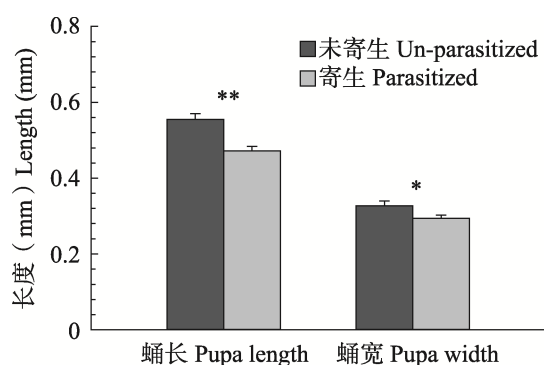


图 4 桉角蚜小蜂寄生对黑刺粉虱伪蛹大小的影响

Fig. 4 Effects of parasitism of *Eretmocerus gunturiensis* on the size of pseudopupa of *Aleurocanthus spiniferus*

*和**分别表示被寄生蛹和未被寄生蛹之间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著 (t -检验)。

* and ** indicates significant differences between parasitized pupae and un-parasitized pupae at the 0.05 level and 0.01 level by t -test, respectively.

0.003), 上部叶片 ($F_{2,12}=2.720$, $P=0.106$) 和下部叶片 ($F_{2,12}=0.418$, $P=0.667$) 在不同茶丛方位间寄生率均无显著性差异。双因素方差分析结果显示, 茶丛方位和叶片位置的交互作用对玳特桉角蚜小蜂寄生率无显著影响 ($F_{4,45}=1.029$, $P=0.406$)。

同 7 月份玳特桉角蚜小蜂寄生黑刺粉虱的规律相似, 8 月份寄生率在不同的茶丛位置也有一定的区别, 但 8 月份的整体寄生率均低于 7 月份的寄生率 (表 2)。茶丛阳面的中部叶片寄生率显著高于上部叶片 ($F_{2,12}=8.350$, $P=0.004$), 下部叶片则与上部叶片 ($F_{2,12}=8.350$, $P=0.267$) 和中部叶片 ($F_{2,12}=8.350$, $P=0.077$) 寄生率均无显著性差异。茶丛中间不同部位的叶片间寄生率均无显著性差异 ($F_{2,12}=2.706$, $P=0.107$)。茶丛阴面中部叶片 ($F_{2,12}=11.734$, $P=0.009$) 和下部叶片 ($F_{2,12}=11.734$, $P=0.002$) 寄生率均显著高于上部叶片。中部叶片不同茶丛方位间寄生率无显著性差异 ($F_{2,12}=1.970$, $P=0.182$), 上部叶片 ($F_{2,12}=5.058$, $P=0.026$) 和下部叶片 ($F_{2,12}=7.419$, $P=0.008$) 在茶丛阴面均显著高于其他茶丛方位。双因素方差分析结果显示, 茶丛方位和叶片位置的交互作用对桉角蚜小蜂寄生率无显著影响 ($F_{4,45}=0.744$, $P=0.569$)。

3 讨论

寄生蜂寄生方式多样, 根据所寄生的寄主发

表 1 7 月份玳特桠角蚜小蜂的寄生率

Table 1 Parasitic rates of *Eretmocerus gunturiensis* in July

茶丛方位 Tea bush positions	上部叶片 Upper leaves	中部叶片 Middle leaves	下部叶片 Lower leaves
阳面 Sunny side	0.229±0.051 bA	0.474±0.093 aA	0.290±0.039 bA
中间 Middle	0.180±0.064 bA	0.319±0.049 aB	0.253±0.031 abA
阴面 Night side	0.170±0.064 bA	0.278±0.061 aB	0.291±0.025 aA

表中数据为平均值±标准误。同行数据后标有不同小写字母表示相同茶丛方位不同茶丛部位寄生率差异显著，同列数据后标有不同大写字母表示相同茶丛部位不同茶丛方位寄生率差异显著 ($P<0.05$ ，单因素方差分析和 Tukey 氏多重比较)。下表同。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same line indicate the significant differences of parasitic rate between different tea bush parts in the same tea bush direction, while followed by different capital letters in the same column indicate the significant differences of parasitic rate between different tea bush positions in the same tea bush part. The same below.

表 2 8 月份桠角蚜小蜂寄生率

Table 2 Parasitic rates of *Eretmocerus gunturiensis* in August

茶丛方位 Tea bush positions	上部叶片 Upper leaves	中部叶片 Middle leaves	下部叶片 Lower leaves
阳面 Sunny side	0.107±0.009 bB	0.283±0.056 aA	0.178±0.039 abB
中间 Middle	0.125±0.006 aAB	0.199±0.037 aA	0.166±0.035 aB
阴面 Night side	0.163±0.019 bA	0.268±0.056 aA	0.296±0.090 aA

育时期不同，可分为卵期寄生、幼期寄生、蛹期寄生、成虫期寄生以及跨期寄生；根据寄生位置的不同，可分为内寄生 (Endoparasitism)、外寄生 (Ectoparasitism) 和内外兼性寄生 (Ecto-endo-parasitoid) (Whitfield, 2003; Pennacchio and Strand, 2006; Asgari and Rivers, 2011; 朱秀等, 2021)。古桥桠角蚜小蜂可以选择烟粉虱的 1 龄和 4 龄若虫作为寄主，但偏好 2 龄和 3 龄若虫，雌蜂产卵于叶片与烟粉虱若虫腹部之间，幼虫孵化后再钻入寄主若虫体内，并在烟粉虱 4 龄若虫末期羽化而出 (郭秋等, 2015)。海氏桠角蚜小蜂对 B 型烟粉虱的寄生行为属于幼期寄生及内外兼性寄生 (方美娟, 2012)。本研究中玳特桠角蚜小蜂对黑刺粉虱表现出相似的内外兼性寄生的寄生模式。桠角蚜小蜂繁殖方式多样，包括两性生殖如海氏桠角蚜小蜂 (冀禄禄等, 2012) 和古桥桠角蚜小蜂 (郭秋等, 2015)，孤雌生殖如蒙氏桠角蚜小蜂澳大利亚品系 (De Barro *et al.*, 2000) 和桠角蚜小蜂属的 *E. rui* (Zolnerowich and Rose, 2004)。本研究过程中未发现雄虫，玳特桠角蚜小蜂的生殖方式还需进一步明确。

黑刺粉虱成虫发生高峰期分别是 4 月中下

旬、6 月中下旬、8 月上中旬和 9 月下旬至 10 月上旬。本研究中桠角蚜小蜂的高峰期分别发生在 5 月中下旬，6 月份持续大量发生至 7 月中旬，最后一个小高峰出现在 8 月上旬。根据其他相似种桠角蚜小蜂的发育历程可以推测出玳特桠角蚜小蜂从产卵到成虫羽化的时间大约为 15 d，5 月中下旬出现的第一个高峰可能是因为 4 月中下旬黑刺粉虱越冬代成虫产卵并发育为若虫后，为桠角蚜小蜂提供了寄主，经过 15 d 的生长发育在 5 月中下旬羽化为成蜂。由于黑刺粉虱的世代重叠现象，桠角蚜小蜂在整个 6 月份均大量发生，6 月中下旬黑刺粉虱的高发期对应 7 月中旬桠角蚜小蜂的高发期。黑刺粉虱 8 月中旬第 2 代成虫高峰后，第 3 代部分伪蛹可直接进入越冬，少量发育为成虫产越冬代卵并在越冬期逐渐发育为伪蛹 (刘梦圆等, 2022)。因此，在 8 月上旬后茶园再没出现玳特桠角蚜小蜂。

许多寄生蜂通过主动调控寄主体内的营养状态以满足自身的营养需求。淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* 的寄生可抑制甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 体内蛋白质的合成 (Jiang *et al.*, 2013)。黑豆蚜 *Aphis craccivora* 被日本

柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus japonicus* 寄生后, 其血淋巴中的海藻糖含量显著减少(甘明等, 2003); 菜蛾盘绒茧蜂 *Cotesia vestalis* 能破坏寄主小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫的脂肪体(白素芬等, 2005)。本研究中桨角蚜小蜂的寄生会导致黑刺粉虱的蛹长和蛹宽显著减小, 其机制还需进一步明确。

茶丛不同位置对桨角蚜小蜂的寄生率也有一定影响, 茶丛中部叶片寄生率显著高于上部和下部叶片, 主要是和黑刺粉虱若虫在茶丛的分布有关。温度对桨角蚜小蜂的发育历期和寄生率均有显著影响, 在一定的温度范围内, 环境温度越高, 发育历期越短, 寄生率越高(方美娟等, 2015)。本研究发现 8 月份玳特桨角蚜小蜂成虫发生数量及整体寄生率均低于 7 月份的寄生率, 可能是温度降低造成的, 玳特桨角蚜小蜂在山东扣棚茶园能否安全越冬还需进一步明确。

参考文献 (References)

- Asgari S, Rivers DB, 2011. Venom proteins from endoparasitoid wasps and their role in host-parasite interactions. *Annual Review of Entomology*, 56: 313–335.
- Bai SF, Chen XX, Cheng JA, Fu WJ, He JH, 2005. Effects of parasitism factors of the parasitoid *Cotesia plutellae* on fat body structure of the host *Plutella xylostella* larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 48(2): 166–171. [白素芬, 陈学新, 程家安, 符文俊, 何俊华, 2005. 菜蛾盘绒茧蜂主要寄生因子导致的寄主小菜蛾幼虫脂肪体结构的变化. *昆虫学报*, 48(2): 166–171.]
- Cahill M, Jarvis W, Gorman K, 1996. Resolution of baseline responses and documentation of resistance to buprofezin in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research*, 86(2): 117–122.
- Dai P, Liu LZ, Zang LS, Zhang JJ, Ruan CC, Wan FH, 2014. Host feeding and parasitism preference in *Eretmocerus hayati* for nymphs between Q sibling species of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(1): 20–25. [戴鹏, 刘林州, 臧连生, 张俊杰, 阮长春, 万方浩, 2014. 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. *中国生物防治学报*, 30(1): 20–25.]
- De Barro PJ, Coombs MT, 2009. Postrelease evaluation of *Eretmocerus hayati* Zolnerowich and rose in Australia. *Bulletin of Entomological Research*, 99(2): 193–206.
- De Barro PJ, Driver F, Naumann ID, Schmidt S, Clarke GM, Curran J, 2000. Descriptions of three species of *Eretmocerus haldeman* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitising *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Australia based on morphological and molecular data. *Australian Journal of Entomology*, 39(4): 259–269.
- Fang MJ, 2012. Studies on the sense organ system and parasitic developmental characters of three parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius). Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [方美娟, 2012. 三种烟粉虱寄生蜂感觉系统及其寄生发育习性的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Fang MJ, He XQ, Liu D, Wang YB, 2015. Development of *Eretmocerus* sp. under natural temperature conditions. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 19(4): 59–62. [方美娟, 何晓庆, 刘冬, 王玉波, 2015. 桨角蚜小蜂在自然变温条件下的发育情况. *河北农业科学*, 19(4): 59–62.]
- Gan M, Miao XX, Ding DC, 2003. Biochemical and metabolic alterations in *Aphis craccivora* Koch parasitized by *Lysiphlebus japonicus* Ashmead. *Acta Phytophylacica Sinica*, 30(3): 255–260. [甘明, 苗雪霞, 丁德诚, 2003. 日本柄瘤蚜茧蜂的寄生对黑豆蚜生化代谢的影响. *植物保护学报*, 30(3): 255–260.]
- Goolsby JA, Ciomperlik MA, Legaspi JBC, Legaspi JC, Wendel LE, 1998. Laboratory and field evaluation of exotic parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Biotype“B”) (Homoptera: Aleyrodidae) in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Biological Control*, 12(2): 127–135.
- Guo Q, Dang F, He Z, Ren SX, Qiu BL, 2015. A development and morphological comparison between *Eretmocerus furuhashii* and *Encarsia bimaculata*. *Journal of South China Agricultural University*, 36(5): 80–84. [郭秋, 党芳, 何瞻, 任顺祥, 邱宝利, 2015. 古桥桨角蚜小蜂与双斑恩蚜小蜂的发育及形态比较. *华南农业大学学报*, 36(5): 80–84.]
- Han M, 2010. Studies on the occurrence and genetic diversity of *Aleurocanthus spiuiferus* in tea plants. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [韩敏, 2010. 茶树黑刺粉虱发生动态及遗传多样性研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]
- Huang J, Luo XN, Huang BK, Zhang XY, 1999. Studies on *Aleurocanthus spiniferus* Quaint and its natural enemies. *Entomological Journal of East China*, 8(1): 35–40. [黄建, 罗肖南, 黄邦侃, 张晓英, 1999. 黑刺粉虱及其天敌的研究. *华东昆虫学报*, 8(1): 35–40.]
- Huang PY, Huang J, 2004. Studies on *Eretmocerus* (Hymenoptera: Aphelinidae) from China with descriptions of new record species. *Entomotaxonomia*, 26(2): 146–150. [黄蓬英, 黄建, 2004. 中国桨角蚜小蜂属及其新记录种的记述. *昆虫分类学报*, 26(2): 146–150.]
- Ji LL, Yang NW, Wan FH, Li ZH, 2012. Female reproductive system of *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) and *Encarsia sophia* (Girault & Dodd), parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Biological Control*, 28(3): 303–307. [冀禄禄, 杨念婉, 万方浩, 李照会, 2012. 海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂雌性生殖系统的解剖结构. *中国生物*

- 防治学报, 28(3): 303–307.]
- Jiang JX, Ji XY, Yin YY, Wan NF, 2013. The effect of nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes* on hemolymph proteins, sugars, and lipids in *Spodoptera exigua* larvae. *Biol. Control*, 58: 777–788.
- Khanzada SR, 2016. The multiple mating behavior of two *Bemisia tabaci* parasitoids with different reproductive modes and its effects on the production of female progeny. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [Khanzada SR, 2016. 烟粉虱寄生蜂浅黄恩蚜小蜂和海氏桨角蚜小蜂的多次交配行为及其对繁殖的影响. 博士学位论文, 北京: 中国农业科学院.]
- Li PW, Peng P, Wang XQ, Lei L, Lin Q, Huang SJ, Hu X, 2011. Study on spatial distribution patterns of *Aleurocanthus spiniferus* in four tea species. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24(3): 954–958. [李品武, 彭萍, 王晓庆, 雷蕾, 林强, 黄尚俊, 胡翔, 2011. 黑刺粉虱在 4 个茶树品种上空间分布型研究. 西南农业学报, 24(3): 954–958.]
- Li QC, Wang LD, Zhao XM, Liu Y, Lan Y, Han YH, Liu Y, 2022. Study on cooperative control of whitefly in protected vegetable greenhouse by *Nesidiocoris tenuis*, *Encarsia formosa* Gahan. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 50(4): 144–145, 152. [李青超, 王立达, 赵秀梅, 刘悦, 兰英, 韩业辉, 刘洋, 2022. 烟盲蝽和丽蚜小蜂协同防治设施蔬菜温室白粉虱技术研究. 安徽农业科学, 50(4): 144–145, 152.]
- Liu MY, Wang FD, Zhao YJ, Liu YN, Kang ZW, Xu YY, Chen ZZ, 2022. Study on overwintering stage and spatial distribution pattern of *Aleurocanthus spiniferus* in tea plantation. *Journal of Environmental Entomology*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20220531.1550.002.html>. [刘梦圆, 王枫荻, 赵亚津, 刘亚男, 康志伟, 许永玉, 陈珍珍, 2022. 茶园黑刺粉虱越冬虫态及空间分布型研究. 环境昆虫学报, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20220531.1550.002.html>.]
- Liu YN, Liu MY, Huang LY, Kang ZW, Xu YY, Chen ZZ, 2022. Analysis of diversity and temporal patterns of the insect communities in tea gardens. *Journal of Tea Science*, 42(1): 109–119. [刘亚男, 刘梦圆, 黄丽蕴, 康志伟, 许永玉, 陈珍珍, 2022. 茶园昆虫群落多样性和时间格局分析. 茶叶科学, 42(1): 109–119.]
- Long CP, Dai XH, Guo QY, Xu JS, Su HN, Zhong BL, 2017. Spatial distribution pattern of *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) on *Cinnamomum japonicum* Sieb. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 45(17): 99–101. [龙承鹏, 戴小华, 郭青云, 徐家生, 苏华楠, 钟八莲, 2017. 天竺桂叶片上黑刺粉虱的空间分布格局. 江苏农业科学, 45(17): 99–101.]
- Pennacchio F, Strand MR, 2006. Evolution of developmental strategies in parasitic Hymenoptera. *Annual Review of Entomology*, 51: 233–258.
- Qi L, 2008. Chemical communication mechanism among between *Aleurocanthus spiniferus* and some kinds of predatory and parasitic natural enemies. Master dissertation. Hefei: Anhui Agricultural University. [亓黎, 2008. 茶黑刺粉虱与几种捕食和寄生性天敌间的化学通讯联系. 硕士学位论文, 合肥: 安徽农业大学.]
- Shao JB, Liu SS, Yu YZ, Liu YQ, 2010. Functional response of *Eretmocerus hayati* to two biotypes of whitefly, *Bemisia tabaci*. *Journal of Environmental Entomology*, 32(1): 73–77. [邵家斌, 刘树生, 余元钊, 刘银泉, 2010. 海氏桨角蚜小蜂对两种生物型烟粉虱的功能反应研究. 环境昆虫学报, 32(1): 73–77.]
- Tang MJ, 2001. Progress of researches on the biological control of spiny black whitefly (*Aleurocanthus spiniferus* Quaintance). *Journal of Tea Science*, 21(1): 4–6. [唐美君, 2001. 黑刺粉虱生物防治研究进展. 茶叶科学, 21(1): 4–6.]
- Tang TC, Zhang Y, Li CJ, Cao XR, Chen ZZ, Xu YY, 2018. Predatory responses of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) and *Chrysopa pallens* larvae to *Aleurocan spiniferus* (Quaintance) nymphs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(2): 217–222. [唐天成, 张艳, 李程锦, 曹欣然, 陈珍珍, 许永玉, 2018. 中华通草蛉和大草蛉幼虫对黑刺粉虱若虫的捕食功能反应. 应用昆虫学报, 55(2): 217–222.]
- Wang WM, Li JN, Du HM, Niu JL, Yang QB, Zhu FD, 2002. Research and preliminary report on new natural enemy (*Eretmocerus longipe*) of mulberry white fly. *Acta Sericologica Sinica*, 28(1): 45–47. [王卫明, 李晋南, 堵鹤鸣, 钮菊林, 杨勤标, 朱芬娣, 2002. 桑粉虱天敌—长跗桨角蚜小蜂的调查初报. 蚕业科学, 28(1): 45–47.]
- Whitfield JB, 2003. Phylogenetic insights into the evolution of parasitism in Hymenoptera. *Advances in Parasitology*, 54(1): 69–100.
- Wu Q, HuangFu WG, Gao QM, Wei SJ, Chai WG, Huang J, Liu SS, Chen XX, 2009. Newly recorded species of *Eretmocerus* parasitizing the whitefly *Bemisia tabaci* in China. *Entomotaxonomia*, 31(4): 310–314. [吴琼, 皇甫伟国, 高明清, 魏书军, 柴伟钢, 黄建, 刘树生, 陈学新, 2009. 寄生烟粉虱的桨角蚜小蜂新记录种. 昆虫分类学报, 31(4): 310–314.]
- Zhang XM, Marco F, Wan FH, Yang NW, Gábor L, 2020. The parasitoid *Eretmocerus hayati* is compatible with barrier cropping to decrease whitefly (*Bemisia tabaci* MED) densities on cotton in China. *Insects*, 11(1): 57–57.
- Zhu X, Liu S, Xu CQ, Guo K, Xu R, Qiao HL, Chen J, 2021. Advances in research on sensilla structure and function in parasitic wasps. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(4): 822–845. [朱秀, 刘赛, 徐常青, 郭昆, 徐荣, 乔海莉, 陈君, 2021. 寄生蜂感受器的结构和功能研究进展. 应用昆虫学报, 58(4): 822–845.]
- Zolnerowich G, Rose M, 1998. *Eretmocerus* Haldeman (Hymenoptera: Aphelinidae) imported and released in the United States for control of *Bemisia tabaci* complex (Homoptera: Aleyrodidae). *Proceedings-Entomological Society of Washington*, 100(2): 310–323.
- Zolnerowich G, Rose M, 2004. *Eretmocerus rui* n. sp. (Hymenoptera: Chalcidoidea), an exotic natural enemy of *Bemisia* (*tabaci* group) (Homoptera: Aleyrodidae) released in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3): 283–287.