



于永杰, 沈建茹, 郝帅康, 张睿博, 刘智, 王佳琪, 刘军侠. 麦蚜茧蜂生物学特性研究[J]. 环境昆虫学报, 2026, 48 (2): 550-558. YU Yong-Jie, SHEN Jian-Ru, HAO Shuai-Kang, ZHANG Rui-Bo, LIU Zhi, WANG Jia-Qi, LIU Jun-Xia. Study on the biological characteristics of *Ephedrus plagiator* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2026, 48 (2): 550-558.

麦蚜茧蜂生物学特性研究

于永杰¹, 沈建茹¹, 郝帅康¹, 张睿博¹, 刘智¹, 王佳琪¹, 刘军侠^{1,2*}

(1. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000; 2. 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北保定 071000)

摘要:【目的】麦蚜茧蜂 *Ephedrus plagiator* 是桃粉蚜 *Hyaloptera arundinis* 的一种重要内寄生蜂, 目前国内外对其生物学特性报道较少, 研究麦蚜茧蜂生物学特性, 可为桃粉蚜的生物防治提供依据。【方法】本文采用野外调查与室内试验相结合的方法, 对麦蚜茧蜂的寄生特征、羽化、发生规律、交配和产卵等生物学特性进行调查。【结果】结果表明: 麦蚜茧蜂在保定地区一年可发生 6~8 代, 发生期为 4~11 月; 多以老熟幼虫在桃粉蚜僵蚜内越冬。桃粉蚜被寄生后, 1~2 日内仍可取食, 3 日后停食不动, 4~8 日蚜体逐渐膨大死亡, 10~12 日羽化出蜂。幼虫初步观察到 3 个龄期, 蛹期观察到 4 个发育阶段, 各个阶段形态特征区分明显。成虫主要在白天羽化, 日羽化高峰在 6:00-8:00, 占全天羽化总数的 28%。麦蚜茧蜂对桃粉蚜的寄生率 (53%) 6 月中旬最高, 雌雄性比为 3:1。与对照相比, 15% 蜂蜜水和 15% 蔗糖水均能显著提高其寄生率, 延长其寿命, 其中饲喂 15% 蜂蜜水效果最好, 寄生率和寿命分别可达 59% 和 11.17 d。麦蚜茧蜂交配过程可分为求偶、交尾前期、交尾期及交尾后期 4 个阶段, 雌蜂一生只交配 1 次, 雄蜂可多次交配, 产卵过程分为产卵前寄主定位检查、产卵和产卵后梳理 3 个阶段。【结论】本研究明确了麦蚜茧蜂的关键生物学特性, 为利用其进行桃粉蚜的生物防治提供了重要的理论依据。

关键词: 麦蚜茧蜂; 桃粉蚜; 生物学特性; 生物防治

中图分类号: Q965

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2026) 02-0550-09

Study on the biological characteristics of *Ephedrus plagiator*

YU Yong-Jie¹, SHEN Jian-Ru¹, HAO Shuai-Kang¹, ZHANG Rui-Bo¹, LIU Zhi¹, WANG Jia-Qi¹, LIU Jun-Xia^{1,2*} (1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. Hebei Key Laboratory of Forest Germplasm Resources and Protection, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: 【Aim】The objective of this study is to investigate the biological characteristics of *Ephedrus plagiator*, an important endoparasitoid of *Hyaloptera arundinis*, as studies on its biological characteristics are scarce both domestically and internationally. This study can provide a theoretical basis for the biological control of *H. arundinis*. 【Methods】In this paper, we adopted a combination of field investigations and laboratory experiments to examine the parasitic characteristics, emergence, occurrence patterns, mating behavior, and oviposition behavior of *E. plagiator*. 【Results】The results showed that *E. plagiator* completed 6~8 generations per year in the Baoding area, and the occurrence period was from April to November; it overwintered mostly as mature larvae inside the mummies of *H. arundinis*. After being parasitized, *H. arundinis* continued feeding for 1~2 days, ceased movement and feeding after 3 days, and gradually swelled and died within 4~8 days, *E. plagiator* adults emerged from the host on days 10~12.

基金项目: 国家自然科学基金 (32371882); 河北省现代农业产业技术体系 (HBCT2021220207); 河北省农林科学院科技创新专项 (2022KJXCZX-ZBS-9)

作者简介: 于永杰, 女, 河北承德人, 硕士研究生, 研究方向为森林保护, E-mail: cdweyyj@163.com

*通讯作者 Author for correspondence: 刘军侠, 女, 博士, 教授, 研究方向为森林保护, E-mail: bdljx1997@126.com

收稿日期 Received: 2024-09-01; 修回日期 Revision received: 2024-11-27; 接受日期 Accepted: 2024-11-28

Three instars were initially observed in the larval stage, and four developmental stages were observed in the pupal stage, with distinct morphological characteristics at each stage. Adults mainly emerged during daylight, peaking between 6:00-8:00, accounting for 28% of the daily total emergence. The parasitism rate of *E. plagiator* against *H. arundinis* was the highest in mid-June, reaching 53%; the female-to-male ratio was 3 : 1. Compared with the control group (without sugar feeding), 15% honey water or 15% sucrose solution significantly increased the parasitism rate and prolong *E. plagiator's* lifespan. The 15% honey water yielded the best results, with the parasitism rate and lifespan reaching 59% and 11.17 days, respectively. The mating process of *E. plagiator* was divided into four stages: courtship, pre-copulation, copulation, and post-copulation; the female wasps mated only once in their lifetime, while the male wasps mate multiple times. Oviposition process was divided into three stages: pre-oviposition host location and inspection, oviposition, and post-oviposition grooming. **【Conclusion】** This study clarifies the key biological characteristics of *E. plagiator*, which provides an important theoretical basis for the application of *E. plagiator* to the biological control of *H. arundinis*.

Key words: *Ephedrus plagiator*; *Hyaloptera arundinis*; biological characteristics; biological control

桃粉蚜 *Hyaloptera arundinis* 属于半翅目 Homoptera 蚜科 Aphididae, 又名桃粉大尾蚜、桃粉绿蚜等, 是桃、杏、李等蔷薇科植物及禾本科杂草上的重要害虫, 主要以无翅胎生雌蚜和若蚜群集于枝梢和嫩叶背部吸汁为害, 严重影响树木的生长 (王晓娟等, 2016; 王新卫等, 2016)。对于桃粉蚜的危害, 一般化学防治难以达到理想效果。蚜虫寄生蜂对蚜虫专化性强, 与寄主蚜虫之间有着较为复杂的制约关系, 对蚜虫种群具有很好的控制作用 (时敏等, 2020)。目前, 利用寄生蜂对蚜虫进行生物防治已经在国内外广泛应用, 例如, 蚜虫宽缘金小蜂 *Pachyneuron aphidis* 被应用于烟蚜 *Myzus persicae* 的防治工作 (柴正群等, 2005); 释放棉蚜茧蜂 *Lysiphlebia japonica* 成功减少了棉蚜 *Aphis gossypii* 的侵害 (高雪珂, 2019); 河南洛阳地区已经形成了成熟的烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 繁蜂技术体系, 可用于防治烟蚜、桃蚜 *M. persicae*、菜蚜 *Brevicoryne brassicae* 等多种蚜虫。

麦蚜茧蜂 *Ephedrus plagiator* 属膜翅目 Hymenoptera 蚜茧蜂科 Aphidiidae 全脉蚜茧蜂属 *Ephedrus* (田红伟, 2017), 在我国南北地区均有分布, 是专门寄生蚜虫的一种内寄生蜂, 已有研究发现麦蚜茧蜂可寄生麦长管蚜 *Macrosiphum avenae*、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*、桃蚜等多种蚜虫, 对寄主蚜虫的自然控制力强, 防治效果显著。

作者在河北省保定市竞秀公园野外调查时, 发现在桃粉蚜上, 麦蚜茧蜂的寄生率最高, 控制

作用最显著, 为桃粉蚜优势寄生蜂。但关于麦蚜茧蜂对桃粉蚜寄生生物学特性的研究尚未见报道。为充分了解该寄生蜂的生防潜能, 更好地开发利用于桃粉蚜的生物防治, 本研究对该寄生蜂的寄生特征、羽化、发生规律、交配和产卵等生物学特性进行观察, 旨在为桃粉蚜的生物防治技术提供理论依据, 并为该寄生蜂的人工大规模繁育和野外应用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源

桃粉蚜及麦蚜茧蜂于2023年4-6月采自河北省保定市行道树中受害的紫叶碧桃上。桃粉蚜带回室内用桃叶片继代饲养; 麦蚜茧蜂带回室内待其羽化, 以室内饲养的桃粉蚜为寄主进行繁育。饲养条件为温度 (25 ± 2) °C, 相对湿度 (60 ± 10) %, 光周期 14 L : 10 D。

1.2 试验方法

1.2.1 麦蚜茧蜂寄生特征及虫态特征

每10头寄生蜂接入一个装有100头桃粉蚜的指形管 (2.5 cm × 12 cm) 中, 管壁涂有15%蜂蜜水, 用100目纱网封口, 充分寄生24 h后将雌蜂移除, 放置于温度 (25 ± 2) °C, 相对湿度 (60 ± 10) %, 光周期 14 L : 10 D的人工气候箱中继续发育。

从接入寄生蜂开始观察麦蚜茧蜂的寄生特征, 用显微镜连续录像; 从初产卵开始直至成蜂羽化

观察虫态特征, 即从寄生后 0 h 开始调查, 每隔 24 h 取被寄生的桃粉蚜进行解剖, 观察桃粉蚜内寄生蜂的不同发育阶段, 并在显微镜下进行拍照。

1.2.2 自然种群发生规律及性比调查

2023年4-11月, 用随机取样法选取3株紫叶碧桃, 每株树分别从东、南、西、北各选取1条枝条, 分上、下层, 统计该枝条50 cm长度范围, 每隔7 d (极端天气推迟或延后) 调查记录枝梢受害情况, 对受害枝梢上的桃粉蚜及僵蚜情况进行记录, 统计虫口数量及寄生率。设置4组重复。

2023年4-6月, 在紫叶碧桃上每世代随机采集30头僵蚜带回实验室, 放置于温度(25±2)℃, 相对湿度(60±10)%, 光周期14 L: 10 D的人工气候箱中待其羽化, 详细记录采集时间、数量, 出蜂量和雌雄比。设置3组重复。

1.2.3 补充营养对麦蚜茧蜂寄生率、成虫寿命的影响

试验设15%蜂蜜水、15%蔗糖水、不饲喂(对照组)3个处理。饲养条件为温度(25±2)℃, 相对湿度(60±10)%, 光周期14 L: 10 D, 每指形管中接入羽化且已观察到交配行为的雌蜂1头, 用脱脂棉蘸取不同营养源贴于管壁, 加入50头桃粉蚜后寄生24 h后去除雌蜂, 每隔2 h观察一次不同处理条件下寄生蜂寄生情况, 待桃粉蚜僵化后, 统计寄生率, 试验重复3次。

收集初羽化的成蜂10头, 单头分别装到一个指形管中, 用脱脂棉蘸取不同营养源贴于管壁, 每隔24 h补充一次营养, 记录每头成蜂存活天数, 每天观察1次, 直至所有蜂死亡, 试验重复3次。

1.2.4 麦蚜茧蜂日羽化节律

取带有50头僵蚜的叶片放到养虫罐(10 cm×20 cm)中, 在温度(25±2)℃, 相对湿度(60±10)%, 光周期14 L: 10 D的试验条件下, 用湿棉花包裹叶柄, 并在养虫罐底部放入湿棉花(防止叶片失水), 用纱网和橡皮筋封口待其羽化。从6:00-22:00, 每隔2 h观察一次寄生蜂的羽化情况, 记录各时段羽化数量, 同时统计每天羽化的寄生蜂总数, 待寄生蜂全部羽化后调查未羽化数, 计算羽化率, 相同试验条件下重复3次。

1.2.5 麦蚜茧蜂交配、产卵行为观察

将1对初羽化的麦蚜茧蜂成虫放入指形管中, 用100目纱网封口, 在体视显微镜下录像观察并记录麦蚜茧蜂的交尾行为和持续时间, 共观察20对

寄生蜂。

多次交配情况观察: 设1头成蜂与5头异性蜂混合状态下交配的情形, 观察并记录成蜂是否可以进行多次交配。试验重复10次。

饲养条件为温度(25±2)℃, 相对湿度(60±10)%, 光周期14 L: 10 D, 指形管中放入50头桃粉蚜和1头初羽化已交配但未产卵的雌蜂, 在指形管的顶部放上透明的玻璃片, 便于对寄生蜂的产卵行为进行观察和防止寄生蜂逃逸, 观察记录雌性寄生蜂产卵时的行为动态。

1.3 数据统计与分析

试验采用Excel软件进行数据整理统计, 采用SPSS 25.0软件、进行数据处理, 利用单因素方差分析对成虫寿命、性比、寄生率及羽化率进行差异显著性检验(马梦然等, 2020; 席玉强等, 2011)。

2 结果与分析

2.1 麦蚜茧蜂的寄生特征及虫态特征

2.1.1 麦蚜茧蜂的寄生特征

麦蚜茧蜂为内寄生蜂, 在桃粉蚜体内寄生10~12 d羽化出蜂, 不同阶段寄生特征如下(图1): 1~2 d: 桃粉蚜被寄生后活动力逐渐减弱, 虫体无明显变化, 仍可少量取食, 有的还可产生子蚜, 难与健康桃粉蚜区分; 3~4 d: 桃粉蚜停食不动, 虫体膨胀为原来体型的2~3倍大(图1-A), 体色变淡, 由草绿色变为淡绿色(图1-B、C), 而后变为灰褐色(图1-D); 4~8 d: 被寄生的桃粉蚜逐渐膨大死亡, 成黑色僵蚜(图1-E); 10~12 d: 羽化出蜂, 寄生蜂在僵蚜背面咬一圆形孔洞羽化而出(图1-F), 每头僵蚜只羽化出1头寄生蜂。

2.1.2 麦蚜茧蜂的虫态特征

卵: 蜂卵呈椭圆形, 一端稍细, 另一端钝圆, 乳白色, 表面光滑(图2-A)。

幼虫: 初步观察到3个龄期, 体长0.5~1 mm, 初龄幼虫半透明乳白色, 头部钝圆, 尾部稍尖, 状如蛆, 弯曲成C型, 分节不明显; 2龄幼虫较初期幼虫粗大, 通体白色, 初见内部消化系统; 老龄虫体明显增粗, 取食后颜色变深, 体内充满黑褐色的内含物, 消化系统清晰可见, 分节明显, 能够来回伸缩活动, 容易区分头尾(图2-B、C)。

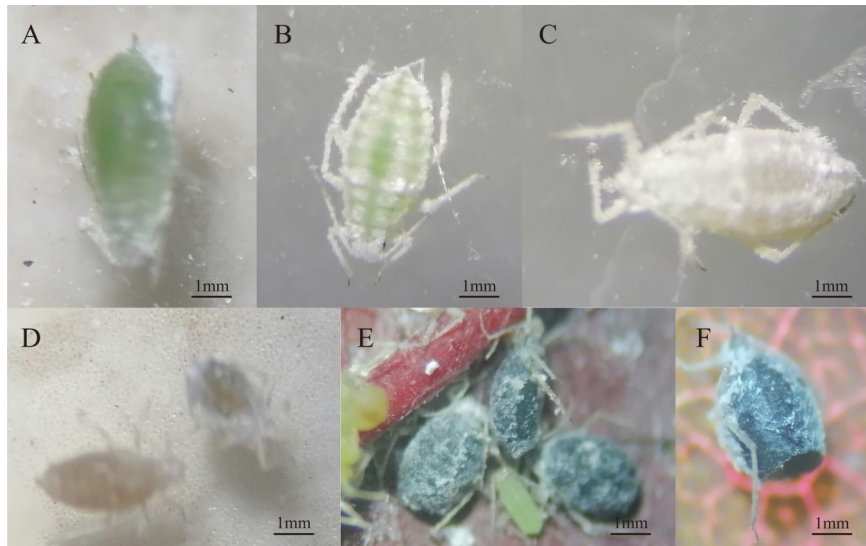


图1 麦蚜茧蜂在桃粉蚜体内的生长发育

Fig.1 Growth and development of *Ephedrus plagiator* within *Hyaloptera arundinis*

注: A, 虫体膨大; B~C, 体色由草绿色变为淡绿色; D, 体色为灰褐色; E, 黑色僵蚜; F, 羽化出蜂。Note: A, Swollen aphid body; B~C, body color changing from grass green to light green; D, Body color was grayish-brown; E, Black mummified aphid; F, adult wasp emergence.

蛹: 蛹长1~1.12 mm, 观察到4个阶段, 一级蛹全体乳白色, 各部分组织、器官分化不明显(图2-D); 二级蛹可见橙红色复眼及翅, 头、胸部逐渐由乳白色变为黄褐色(图2-E); 三级蛹头、胸部颜色逐渐加深, 各器官发育明显, 身体开始骨化(图2-F); 四级蛹虫体骨化变硬, 初见成蜂形态(图2-G)。

雌蜂: 体长2.1~2.5 mm, 头黑色, 口器、足黄褐色; 触角线形, 黑褐色, 11节, 柄节较粗; 复眼一对, 黑色发达; 咀嚼式口器, 下方有白色下唇须; 膜翅一对, 翅脉简单, 具三角形翅痣, 前后翅翅面及翅缘都密生细小毛刺; 足橙黄色, 胸、腹连接处呈细柄状, 腹部末端可见产卵器(图2-H)。

雄蜂: 雄蜂与雌蜂相比虫体略小, 体长1.5~2.3 mm; 触角线形, 比雌蜂触角粗, 11节; 腹部末端有外生殖器, 其它形态特征与雌蜂相似(图2-I)。

2.2 自然种群发生规律及性比的调查结果

2.2.1 自然种群发生规律

调查发现, 麦蚜茧蜂在保定地区一年约完成6~8代, 随桃粉蚜的活动完成年生活周期。桃粉蚜3月下旬~4月上旬越冬卵孵化为干母, 4月中旬干母成熟产生干雌, 并大量繁殖后代。4月中旬调查

发现初寄生的僵蚜, 寄生率为5.94%; 5月气温升高, 桃粉蚜繁殖加快, 麦蚜茧蜂量也随之增加, 被麦蚜茧蜂寄生的僵蚜数量也不断增加; 5月下旬~6月中旬麦蚜茧蜂数量增加最多, 自然寄生率高达50%以上, 是麦蚜茧蜂的寄生高峰期; 7月初, 因气候炎热, 桃粉蚜迁飞至芦苇等禾本科杂草上, 麦蚜茧蜂也随桃粉蚜迁飞至寄主蚜体内寄生, 并在僵蚜体内休眠越冬, 因此7~8月在田间极少捕到成蜂, 寄生率也随之下落; 8月下旬~10月上旬越冬后的麦蚜茧蜂再随桃粉蚜繁殖活动, 8月底再次出现寄生高峰, 寄生率达50%; 10月底有翅蚜迁返回冬寄主越冬, 麦蚜茧蜂也随寄主僵蚜越冬, 虫口数及寄生率显著降低。结合野外调查结果, 对麦蚜茧蜂的年生活周期是以老熟幼虫在桃粉蚜僵蚜内越冬, 翌年4月中旬开始活动, 越冬前可繁殖4~5代, 6月下旬~9月上旬在芦苇等禾本科杂草上越冬, 9~10月迁飞回桃树上寄生桃粉蚜, 繁殖2~3代, 11月在僵蚜体内越冬。

2.2.2 麦蚜茧蜂的性比

麦蚜茧蜂越冬前观察到四代, 雌蜂占75%, 雄蜂占25%, 雌雄比为3:1; 各代雌雄比不同, 差异不显著, 雌蜂多于雄蜂; 其中, 二、三代雌雄比(3.64:1、3.88:1)明显高于一、四代(2.93:1、2.74:1)。

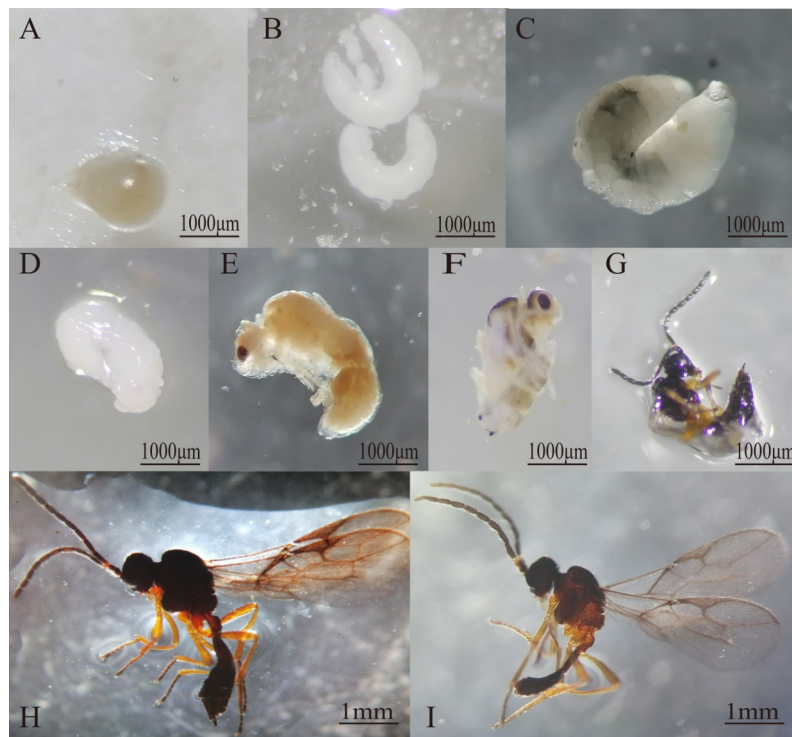


图2 麦蚜茧蜂各虫态形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of the developmental stages of *Ephedrus plagiator*

注: A, 卵; B, 幼虫 (初龄幼虫); C, 幼虫 (老龄幼虫); D, 蛹 (一级蛹); E, 蛹 (二级蛹); F, 蛹 (三级蛹); G, 蛹 (四级蛹); H, 雌蜂; I, 雄蜂。Note: A, Egg; B, Larva (first-instar); C, Larva (mature larva); D, Pupa (stage I); E, Pupa (stage II); F, Pupa (stage III); G, Pupa (stage IV); H, Female adult; I, Male adult.

表1 麦蚜茧蜂第一至四代雌雄比

Table 1 Male-to-female ratio of *Ephedrus plagiator* in the first to fourth generations

世代数 Generation	出蜂总数 Total number of wasps	雌虫总数 Total number of females	雌虫均值 Female mean	雄虫总数 Total number of males	雄虫均值 Male mean	雌雄比 Ratio of female to male
第一代 First generation	55	41	13.67 ± 0.06 c	14	4.6 ± 0.10 b	2.93:1
第二代 Second generation	65	51	16.33 ± 3.06 b	14	4.6 ± 0.10 b	3.64:1
第三代 Third generation	66	49	15.67 ± 1.02 b	17	5.67 ± 0.05 b	2.88:1
第四代 Fourth generation	86	63	20.67 ± 0.60 b	23	7.33 ± 1.06 b	2.74:1
汇总 Total	272	204	65.33 ± 5.01 a	68	21.67 ± 2.60 a	3:1
占比(%) Proportion		75.00		25.00		

注: 表中数值为3次重复平均值±标准差, 同列数值的不同小写字母分别表示 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: The data in the table were mean ± SD of three replicates. Different lowercase letters within the same column indicated significant differences at $P < 0.05$. The same below.

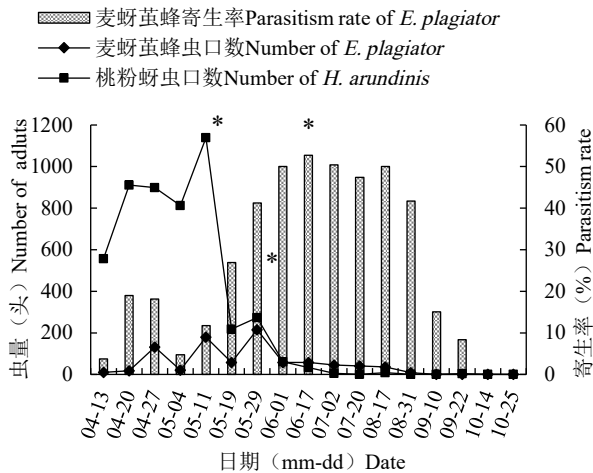


图3 桃粉蚜及麦蚜茧蜂自然种群消长规律及寄生率

Fig. 3 Population dynamics and parasitism rate of *Hyaloptera arundinis* and *Ephedrus plagiator*

2.3 不同喂养条件对麦蚜茧蜂寄生率、寿命的影响

试验结果表明, 麦蚜茧蜂寄生率及寿命受营养条件影响很大。相同试验条件下, 饲喂 15% 蜂蜜水、15% 蔗糖水的寄生率及平均寿命和对照之间差异显著。在不饲喂任何物质 (对照) 的情况下, 麦蚜茧蜂寄生率及寿命分别为 32% 和 2.25 d, 喂养 15% 蜂蜜水、蔗糖水的寄生率分别为 59% 和 54%, 寿命分别为 11.17 d 和 8.17 d, 与不饲喂任何物质时的寄生率及寿命差异显著, 即补充营养可显著提高麦蚜茧蜂寄生率, 延长其寿命; 其中, 饲喂蜂蜜水与蔗糖水相比, 饲喂蜂蜜水时麦蚜茧蜂的寄生率最高、寿命最长, 分别为 59.00% 和 11.17 d。

表2 不同喂养条件对麦蚜茧蜂寄生率、寿命的影响

Table 2 Effects of different feeding conditions on the parasitism rate and lifespan of *Ephedrus plagiator*

营养条件	寄生率 (%)	平均寿命 (d)
Nutritional conditions	Parasitism rate	Average longevity
15% 蜂蜜水	59.00 ± 14.00 b	11.17 ± 2.02 a
15% Honey Water		
15% 蔗糖水	54.00 ± 17.00 b	8.17 ± 1.64 a
15% Cane sugar water		
清水对照	32.00 ± 9.00 a	2.25 ± 0.75 b
CK		

注: 表中数值为 3 次重复平均值 ± 标准差, 同列数值的不同小写字母分别表示 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: The data in the table were mean ± SD of three replicates. Different lowercase letters within the same column indicated significant differences at $P < 0.05$. The same below.

2.4 麦蚜茧蜂的日羽化节律

麦蚜茧蜂在僵蚜背面咬一圆形孔洞羽化而出, 观察麦蚜茧蜂昼夜均能羽化, 多集中在 6:00–12:00, 日羽化高峰出现在 6:00–8:00, 占全天羽化总数的 28.49%。试验共收集 150 头僵蚜, 成功羽化出 139 头寄生蜂, 羽化率达 92.67%。

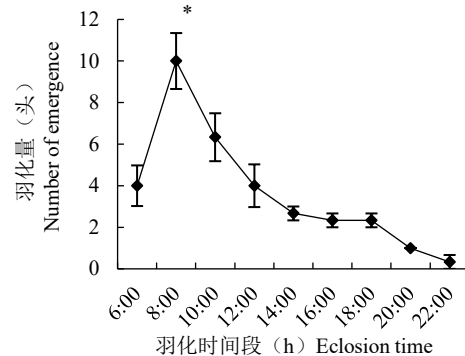


图4 麦蚜茧蜂各时段雌雄蜂羽化动态

Fig. 4 Daily emergence dynamics of male and female *Ephedrus plagiator*

2.5 麦蚜茧蜂交配、产卵行为

2.5.1 麦蚜茧蜂交配行为

成蜂羽化后即可交配, 雌蜂一生只交配 1 次, 雄蜂可进行多次交配。雌、雄蜂交配过程可划分为交尾前期、交尾期及交尾后期 3 个阶段 (表 3)。羽化后爬行 5~10 min 即可飞翔, 在飞翔过程中, 雄蜂追逐并靠近雌蜂; 交尾前期包括交尾前的爬背, 即雄蜂爬上雌蜂背部, 雌蜂背负雄蜂爬行, 雄蜂用触角敲击雌蜂的触角, 使雌蜂停止爬行; 交尾期包括雄蜂抬起前足抓住雌蜂尾部, 腹部向下弯曲, 雌蜂腹部微抬, 尾部对接, 雄蜂将生殖器插入雌蜂生殖孔进行交尾; 交尾后期包括雄蜂离开雌蜂, 雌蜂静止片刻后缓慢爬行, 寻找寄主蚜虫产卵, 雄蜂寻找新的雌蜂进行下一次交尾。

试验观察发现, 已交配过的雄蜂可以与其他未交配过的雌蜂进行交配, 而已交配过的雌蜂不再与其它雄蜂进行交配。

2.5.2 麦蚜茧蜂产卵行为

通过观察发现雌蜂产卵过程分为产卵前寄主定位检查、产卵和产卵后梳理 3 个阶段 (图 5)。

产卵前寄主定位检查: 雌蜂交配后即可寻找寄主蚜产卵, 不断爬行, 用触角频繁敲打寄主身体, 寻找合适的寄主。

产卵: 选定寄主后, 雌蜂先利用前足按住蚜

背, 后足保持身体稳定, 然后腹部弯曲前伸, 快速将产卵瓣刺入蚜体, 时间1~2 s。

产卵后梳理: 一次产卵完成之后, 雌蜂不会

立刻进行下一次产卵, 会静止片刻, 用足、口器清洁触角和产卵器, 后足整理翅膀, 之后雌蜂开始进行下一次产卵。

表3 麦蚜茧蜂交配主要行为过程描述

Table 3 Description of the main behavioral sequence during mating in *Ephedrus plagiator*

阶段 Phase	行为 Behavior	描述 Description	持续时间 Length of time
交尾前期 Pre-copulation	爬背 Mount	雄蜂爬上雌蜂背部, 雌蜂背负雄蜂爬行。Male wasp mounts the back of the female wasp, and the female carries the male while crawling.	1~2 min
	敲打触角 Antennal touch	雄蜂用触角敲击雌蜂触角, 使雌蜂停止爬行。Male wasp taps the antennae of female wasp with his own, causing her to stop crawling.	
交尾 Copulation	抓住 Hold	雄蜂抬起前足抓住雌蜂尾部。Male wasp lifts his forelegs and grabs the female's abdomen tip.	1~2 s
	刺入 Piercing	雄蜂腹部向下弯曲, 雌蜂腹部微抬, 尾部对接。Male wasp's abdomen is bent downwards while female's abdomen is slightly elevated, allowing genital contact.	
交尾后期 Post-copulation	离开 Leave	雄蜂离开雌蜂, 进行下一次交尾。Male wasp dismounts from female for the next copulation.	1~2 min
	寻找 Seek	雌蜂静止片刻后缓慢爬行, 寻找寄主蚜虫产卵。Female wasp remains still briefly and then crawls slowly, searching for host aphids oviposition.	

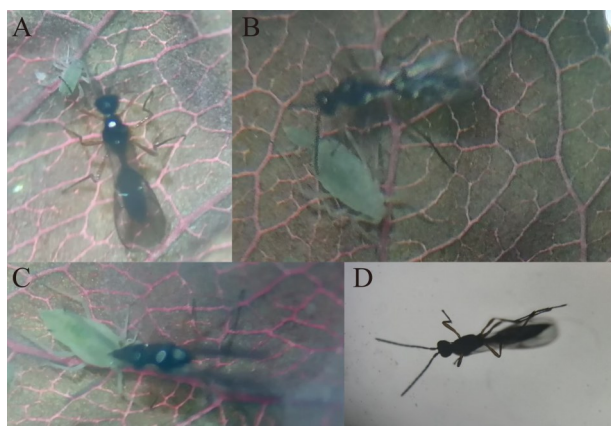


图5 麦蚜茧蜂产卵过程

Fig. 5 Oviposition process of *Ephedrus plagiator*

注: A~B, 寄主定位检查; C, 产卵寄生; D, 产卵后梳理。Note: A~B, Pre-oviposition host location and inspection; C, Oviposition; D, Post-oviposition grooming.

3 结论与讨论

蚜茧蜂的幼虫期发育过程和幼期形态学是蚜茧蜂研究中一项重要课题 (黄海广等, 2011)。

Tremblay 研究认为蚜茧蜂科的所有种类幼虫可能均具有4个龄期, Chorney 和 Mackauer 结论与此一致 (Sandy, 1996)。本研究中麦蚜茧蜂幼虫观察到3个龄期, 可能由于麦蚜茧蜂整个发育阶段在僵蚜内完成且幼虫期发育时间较短, 解剖过程中很难准确掌握其发育阶段而导致幼虫期观察不完全, 对于麦蚜茧蜂幼虫确切的龄期划分及具体形态和发育历期还有待进一步研究。

本研究发现麦蚜茧蜂在保定地区一年发生6~8代, 多以老熟幼虫在桃粉蚜僵蚜内越冬。麦蚜茧蜂将卵产于桃粉蚜体内, 整个发育过程在桃粉蚜体内完成, 孵化后幼虫取食其体液、内脏, 使其逐渐丧失生活能力而死亡, 麦蚜茧蜂完成一个世代10~12 d, 这与烟蚜茧蜂、菜蚜茧蜂 *Diaeretiella rapae* M'Intosh 和棉蚜茧蜂等多种蚜茧蜂的寄生过程一致 (蓝江林和贺福德, 2005; 杨海林等, 2016)。田间调查发现, 麦蚜茧蜂是桃粉蚜的优势寄生性天敌, 随桃粉蚜活动完成年生活周期, 6月中旬寄生率最高, 为53%, 这与烟蚜茧蜂田间发生动态一致, 但对瓜螟绒茧蜂 *Apanteles taragamae*

Viereck 的田间发生动态调查发现, 在温度较低的季节 (上年 10 月-翌年 3 月) 寄生率较高, 在温度较高的季节 (4-9 月) 寄生率较低 (刘奎等, 2007)。不同茧蜂田间发生动态的差异性与环境因素有着紧密的联系, 温度、湿度, 以及光照都会对其造成一定的影响。麦蚜茧蜂的雌雄比为 3:1, 这与枣大球蚧寄生蜂等缘蚧金小蜂 (2.51:1) 雌雄比大致相同 (张萍等, 2016)。

本研究还发现喂养营养物质对寄生蜂的寿命、寄生率影响较大, 补充营养与不喂食相比, 可显著提高其寄生率、延长其寿命; 其中以饲喂 15% 蜂蜜水的麦蚜茧蜂寄生率最高、寿命最长, 这与云南派姬小蜂 *Pediobius yunnanensis* Liao、烟蚜茧蜂、桑天牛卵长尾啮小蜂 *Aprostocetus prolixus* LaSalle et Huang 采用蜂蜜水喂养的结果相似 (黄大庄等, 2005; 马梦然等, 2020; 王巧妮等, 2021; 王少博等, 2024)。出现此种现象说明寄生蜂在生长发育过程中会消耗大量能量, 需要通过补充糖类物质来满足寄生蜂自身生理活动的需求, 使寄生蜂有更多的时间和能量去找寻寄主 (徐忠宝等, 2013)。已有研究结果表明, 增加寄生蜂的营养物质不仅可以延长寄生蜂的寿命, 而且还可以增强寄生蜂的生殖能力, 因此, 可利用寄生蜂的这一特性, 在林间通过合理搭配一些蜜源植物, 来增加寄生蜂的生殖力和寄生率, 提高寄生蜂对蚜虫的控害能力 (李小敏等, 2018)。

麦蚜茧蜂成蜂的羽化行为表现出很强的昼夜节律性。主要集中在日间, 羽化高峰期为上午 8 时, 这与褐带卷蛾茧蜂 *Bracon adoxophyesi* Minamikawa、黄色潜蝇茧蜂 *Liriamyza sativae* Blanchard、长角柄翅缨小蜂 *Conatocerus longicornis* Nees 等茧蜂科的昆虫羽化节律类似, 寄生蜂的此种羽化节律可能与寄生蜂长期所形成的昼夜活动节律相关 (高连喜等, 2003; 罗旭初等, 2017; 赵倩等, 2022; 邢秉林等, 2023)。但也发现某些寄生蜂羽化节律与此不同, 李银焯 (李银焯等, 2021) 等研究发现日本细毛环腹瘿蜂 *Leptopilina japonica* 羽化的时间主要集中在 14:00~22:00, 这可能与不同地区的环境条件及寄生蜂自身的生长发育有关。

本试验发现, 麦蚜茧蜂雄蜂可以进行多次交配, 雌蜂只交配 1 次, 可能与交配后雌性信息素的分泌有关 (董双林和杜家纬, 2002)。产卵之后的麦蚜茧蜂不会快速进行下一次产卵行为, 两次

产卵时间间隔较长, 这可能是由于在产卵时消耗了很大能量, 产卵结束后需一定时间补充能量, 再进行下一次产卵。

参考文献 (References)

- Chai ZQ, Deng JH, Wu W. Study on the biological characteristics of *Pachyneuron aphidis*, a hyperparasitoid of the *Aphidius gifuensis* [J]. *Journal of Southwest Forestry University* (Natural Sciences Edition), 2005, 25 (2): 56-59. [柴正群, 邓建华, 吴伟. 烟蚜重寄生蜂-蚜虫宽缘金小蜂生物学特性研究 [J]. 西南林学院学报 (自然科学版), 2005, 25 (2): 56-59]
- Dong SL, Du JW. Effects of mating experience on sex pheromone production of beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (12): 1633-1636. [董双林, 杜家纬. 交配和温度对甜菜夜蛾雌性信息素产生的影响 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (12): 1633-1636]
- Gao XK. Study on the Development and Physiological Metabolism of *Aphis gossypii* Regulated by *Lysiphlebia japonica* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019. [高雪珂. 棉蚜茧蜂调控棉蚜生长发育及生理代谢研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019]
- Gao LX, Huang JC, Chen JH. Threshold temperature and effective accumulative temperature of *Opius flavus* [J]. *Journal of Biosafety*, 2003, 12 (1): 35-37. [高连喜, 黄居昌, 陈家骅. 黄色潜蝇茧蜂发育起点温度与有效积温的研究 [J]. 华东昆虫学报, 2003, 12 (1): 35-37]
- Huang HG, Liu AP, Lan AQ, et al. Preliminary study on the bionomics of *Lysiphlebus testaceipes* Cresson [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (3): 372-377. [黄海广, 刘爱萍, 兰爱琴, 等. 茶足柄瘤蚜茧蜂生物学特性初步研究 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (3): 372-377]
- Huang DZ, Liu HF, Wang ZG, et al. Study on Reproductive Biology of *Aprostocetus prolixus* on Eggs of *Apriona germarii* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41 (2): 195-200. [黄大庄, 刘辉芳, 王志刚, 等. 桑天牛卵长尾啮小蜂的繁殖生物学研究 [J]. 林业科学, 2005, 41 (2): 195-200]
- Lan JL, He FD. Effect Factors on the Development and longevity of *Lysiphlebia japonica* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2005, 21 (3): 142-145. [蓝江林, 贺福德. 棉蚜茧蜂发育及成蜂寿命的影响因子 [J]. 中国生物防治学报, 2005, 21 (3): 142-145]
- Luo XC, Liu L, Huang SC, et al. Observation on eclosion, mating and oviposition behaviors of *Bracon adoxophyesi* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (2): 382-389. [罗旭初, 刘丽, 黄山春, 等. 褐带卷蛾茧蜂羽化、交配及产卵行为观察 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (2): 382-389]
- Li YH, Zhang F, Yang FX, et al. Study on biological characteristics of *Leptopilina japonica* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (1): 191-198. [李银焯, 张峰, 杨凡莹, 等. 日本细毛环腹瘿蜂生物学特性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 191-198]

- Liu K, Fu YG, Jin QA, *et al.* Population dynamics of *Apanteles taragamae* Viereck and the effect of its parasitism on *Diaphania indica* (Saunders) [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2007, 28 (4): 108-111. [刘奎, 符悦冠, 金启安, 等. 瓜螟绒茧蜂田间发生动态及其对瓜螟的寄生作用 [J]. 热带作物学报, 2007, 28 (4): 108-111]
- Li XM, Liu JA, Dong WT, *et al.* Effects of supplementary nutrition on longevity and fecundity of *Cotesia ruficrus* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (2): 208-213. [李小明, 刘君昂, 董文统, 等. 补充外源营养对螟蛉绒茧蜂寿命和繁殖力的影响 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (2): 208-213]
- Ma MR, Jin X, Cui JZ, *et al.* Biological Characteristics of *Pediobius yunnanensis* Liao (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae), an Parasitoid of *Dioryctria rubella* Hampson [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (6): 829-834. [马梦然, 靳轩, 崔建州, 等. 云南派姬小蜂的生物学特性 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (6): 829-834]
- Shi M, Tang P, Wang ZZ, *et al.* Review of research on parasitoids and their use in biological control in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (3): 491-548. [时敏, 唐璞, 王知知, 等. 中国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (3): 491-548]
- Sandy MS. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use [J]. *Annual Review of Entomology*, 1996, 41 (1): 375-406.
- Tian HW. A taxonomic study on the tribes Ephedriini and Praini (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) from China [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2017. [田红伟. 中国全脉蚜茧蜂族和蚜外茧蜂族分类研究 [D]. 浙江: 浙江大学, 2017]
- Wang XJ, Jing J, Chen JD, *et al.* Feeding preferences and morphological variation of *Hyalopterus pruni* (Geoffroy) (Hemiptera: Aphididae) from different host plants [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (1): 128-139. [王晓娟, 景军, 陈佳丹, 等. 不同寄主上桃粉大尾蚜的取食偏好及形态变异研究 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (1): 128-139]
- Wang XW, Wang LR, Zhu GR, *et al.* Occurrence of peach mealy aphid *Hyalopterus persikonus* in the spring in Zhengzhou and resistance evaluation of peach and its relatives [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33 (12): 1550-1555. [王新卫, 王力荣, 朱更瑞, 等. 桃粉蚜在郑州春季发生规律与桃及其近缘种抗性鉴定 [J]. 果树学报, 2016, 33 (12): 1550-1555]
- Wang QN, Lai RQ, Gu G, *et al.* Generational parasitism of *Aphidius gifuensis* on *Myzus persicae* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (5): 963-969. [王巧妮, 赖荣泉, 顾钢, 等. 福建烟区不同世代烟蚜茧蜂对烟蚜的寄生效应 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (5): 963-969]
- Wang SB, Han MJ, Wei K, *et al.* Biological characteristics of *Cyanopterus ninghais* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67 (1): 68-77. [王少博, 韩孟娇, 魏可, 等. 松褐天牛中脊茧蜂生物学特性研究 [J]. 昆虫学报, 2024, 67 (1): 68-77]
- Xi YQ, Yin XM, Li XJ, *et al.* The temporal distribution of the aphid parasites, *Lysiphlebus fabarum* and *Binodoxys communis*, in soybean fields in Liaoning, China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (6): 1631-1637. [席玉强, 尹新明, 李学军, 等. 豆柄瘤蚜茧蜂和广双瘤蚜茧蜂田间发生动态及田间繁育 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (6): 1631-1637]
- Xing BL, Gulinuer·AHMJ, Wu SY, *et al.* The first report of a new parasitic wasp *Phaedrotoma* sp.2 parasitizing *Liriomyza trifolii* in Hainan [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (3): 740-746. [邢秉琳, 古丽奴尔·阿哈买江, 吴少英, 等. 海南首次发现一种新的三叶草斑潜蝇寄生蜂—斑潜蝇亮蝇茧蜂 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (3): 740-746]
- Xu ZB, Liu AP, Xu LB, *et al.* Preliminary study of the bionomics of *Agyrion flexorius* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (4): 981-990. [徐忠宝, 刘爱萍, 徐林波, 等. 草地螟阿格姬蜂生物学特性初步研究 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (4): 981-990]
- Yang HL, Gu XH, Luo XL, *et al.* Control *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) with *Diaeretiella rapae* (McIntosh) (Hymenoptera: Braconidae), an important parasitoid of aphids [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 1018-1022. [杨海林, 谷星慧, 罗秀莲, 等. 菜蚜茧蜂对萝卜蚜的控制作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 1018-1022]
- Zhao Q, Lin SY, Zhulidezi·AS, *et al.* Occurrence of *Cicadella viridis* and the biology of its egg parasitoids in Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2022, 38 (1): 29-41. [赵倩, 林思雨, 朱丽得孜·艾山, 等. 新疆大青叶蝉发生及其卵寄生蜂生物学特性 [J]. 中国生物防治学报, 2022, 38 (1): 29-41]
- Zhang P, Xiao H, Li QY, *et al.* *Eunotus aequalivena*, an important parasitoid of *Eulecanium gigantea* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (1): 125-128. [张萍, 肖晖, 李秋英, 等. 枣大球蚧中一种重要的寄生蜂—等缘蚧金小蜂 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (1): 125-128]