



李银焮, 张峰, 杨凡萱, 肖春, 张晓明, 陈国华. 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.

日本细毛环腹瘿蜂生物学特性研究

李银焮¹, 张峰², 杨凡萱¹, 肖春¹, 张晓明^{1*}, 陈国华^{1*}

(1. 云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部-CABI 生物安全联合实验室, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要: 日本细毛环腹瘿蜂为斑翅果蝇幼虫优势寄生性天敌之一, 对斑翅果蝇具有较大的控制潜能。本研究以斑翅果蝇为寄主, 在实验室条件下, 通过饲养与观察, 研究了日本细毛环腹瘿蜂的寿命、行为节律、寄主选择、生长发育及繁殖。结果显示: 不同营养条件下, 寄生蜂寿命长短依次为 20% 蜂蜜水 > 10% 蜂蜜水 > 清水 > 对照。寄生蜂羽化期为 8 d, 第 4 天为羽化高峰期, 羽化期每日 10:00–12:00 为羽化高峰期, 16:00–18:00 为产卵活动高峰期。寄生不同龄期的斑翅果蝇幼虫对寄生蜂幼虫存活率没有影响, 对蛹存活率、后代性比、总发育历期有显著影响, 寄生 2 龄幼虫对寄生蜂有更好的适合度, 也对寄主 2 龄幼虫有选择偏好。日本细毛环腹瘿蜂在 3 日龄达到产卵高峰为 13.38 头, 平均每雌产卵 147.50 个。日本细毛环腹瘿蜂卵、幼虫、雄蜂蛹、雌蜂蛹历期分别为 1.30 d、8.67 d、8.86 d、10.27 d, 雄蜂的羽化时间比雌蜂平均提前 1.41 d。综上结果, 日本细毛环腹瘿蜂可作为斑翅果蝇生物防治的重要材料加以应用。

关键词: 日本细毛环腹瘿蜂; 斑翅果蝇; 生物学特性; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0191-08

Study on biological characteristics of *Leptopilina japonica*

LI Yin-Hu¹, ZHANG Feng², YANG Fan-Xuan¹, XIAO Chun¹, ZHANG Xiao-Ming^{1*}, CHEN Guo-Hua^{1*} (1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 2. The Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, MOA-CABI Joint Laboratory for Biosafety, State Key Laboratory of Plant Diseases and Insect Pests, Beijing 100193, China)

Abstract: *Leptopilina japonica* is one of the dominant parasitic natural enemies of *Drosophila suzukii* larvae, and has great potential for controlling *D. suzukii*. In this study, *D. suzukii* was used as the host. Through breeding and observation, the longevity, behavior rhythm, host selection, growth and development, and reproduction of *L. japonica* were studied under laboratory conditions. The results showed that the life span of parasitoid varied under different nutritional conditions: 20% honey water > 10% honey water > clear water > control. *L. japonica* emergence period was 8 days and on the 4th and the daily from 10:00–12:00 was peak of emergence; the peak of oviposition activity occurred at 16:00–18:00. Parasitic *D. suzukii* larvae at different developmental stage had no effect on the survival rate of parasitoid larvae, but significantly influenced the survival rate of pupae, the progeny sex ratio, and the total

基金项目: 云南省高层次人才支持计划“青年拔尖人才”专项(云人社通[2020]150-09号); 昆明市中青年学术和技术后备人选(昆政发[2019]43号); 欧洲果树主要病虫害的高效实用创新型综合治理技术和策略项目(Dropsa, 613678)

作者简介: 李银焮, 男, 1993年生, 在读硕士研究生, 主要从事害虫综合治理研究, E-mail: 754327318@qq.com

* 共同通信作者 Authors for correspondence: 张晓明, 博士, 副教授, 主要研究方向为入侵生物学与生态学, E-mail: zxmalex@126.com; 陈国华, 博士, 教授, 主要研究方向为害虫综合治理, E-mail: chenghkm@126.com

收稿日期 Received: 2020-03-24; 接受日期 Accepted: 2020-04-30

developmental duration. Parasitizing 2nd instar larvae had better fitness and also prefer to 2nd instar larvae of *D. suzukii*. At the age of 3 days, the peak oviposition of *L. japonica* was reached to 13.38 individual, with an average of 147.50 eggs per female. The egg, larval, male pupal and female pupal duration of *L. japonica* was 1.30 d, 8.67 d, 8.86 d and 10.27 d, respectively. The emergence time of the male was 1.41 d earlier than that of female. The results suggested that the *L. japonica* could be used as a potential and effective biological control material in *D. suzukii* control.

Key words: *Leptopilina japonica*; *Drosophila suzukii*; biological characteristics; biological control

斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura, 1931, 又称铃木氏果蝇, 隶属于双翅目 Diptera 果蝇科 Drosophilidae 果蝇属 *Drosophila*, 在我国多个省份均有发生 (钱远槐等, 2006)。1916 年于日本山梨县草莓园中第一次被发现, 1931 年由 Matsumura 描述并命名, 随后扩散到美洲、欧洲等国家 (Hauser *et al.*, 2011)。斑翅果蝇不仅取食表皮受损的果实或地上的落果, 还能够危害成熟期间的新鲜果实 (Keeseey *et al.*, 2015)。雌虫用锯齿状产卵器划破较为成熟或已经成熟的新鲜软皮水果表皮, 并将卵产于果肉中, 其幼虫在果实内危害, 果实以取食点为中心向四周迅速腐烂软化, 失去食用价值, 给水果产业造成巨大的经济损失 (Atallah *et al.*, 2014)。由于斑翅果蝇适应能力强、寄主植物多样、发育速度快、繁殖率高, 以及在入侵地缺乏自然天敌, 已引起了国内外广泛的关注 (Chabert *et al.*, 2012; 张开春等, 2014; Kenis *et al.*, 2016)。近年调查发现, 国内斑翅果蝇对樱桃、蓝莓、杨梅以及葡萄危害的报道日趋增多, 云南省杨梅成熟期受斑翅果蝇危害较为严重, 危害率在 30%~40%, 在杨梅全部成熟之时, 斑翅果蝇的危害率可达 100% (蔡普默等, 2017; 刘冰, 2017)。斑翅果蝇入侵北美和欧洲以来已经成为世界性的危害浆果类和核果类水果的重要害虫之一 (Walsh *et al.*, 2011; Cini *et al.*, 2012; Asplen *et al.*, 2015)。

由于斑翅果蝇的危害特点, 使用传统化学农药很难取得较好的防治效果, 大量使用化学农药容易产生“3R”等一系列问题, 同时也危及到许多有益昆虫如天敌和授粉昆虫的生存 (倪伯杰, 2015; 蔡普默等, 2017)。以天敌昆虫为对策的斑翅果蝇生物防治措施在成本效益和环境安全方面均具有优势, 是重要的防治措施之一 (Haye *et al.*, 2016)。

云南省斑翅果蝇寄生性天敌昆虫较为丰富, 调查到斑翅果蝇寄生性天敌昆虫有 5 种, 即: 丽

盾瘿蜂 *Ganaspis brasiliensis*、日本细毛环腹瘿蜂 *Leptopilina japonica*、反颚茧蜂 *Asobara* sp.、果蝇锤角细蜂 *Trichopria drosophilae* 和蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoides vindemmiae*。其中丽盾瘿蜂、细毛瘿蜂和反颚茧蜂为斑翅果蝇的幼虫寄生蜂, 果蝇锤角细蜂和蝇蛹金小蜂为斑翅果蝇的蛹寄生蜂 (Daane *et al.*, 2016; 方圆等, 2019)。日本细毛环腹瘿蜂 *Leptopilina japonica*, 隶属于膜翅目 Hymenoptera 环腹瘿蜂科 Figitidae 细毛瘿蜂属 *Leptopilina*, 可以在斑翅果蝇体内完成发育 (Kasuya *et al.*, 2013; Daane *et al.*, 2016)。在云南调查到的日本细毛环腹瘿蜂占寄生蜂总数的 34.92%, 是斑翅果蝇的主要寄生性天敌昆虫之一 (方圆等, 2019)。目前国内对斑翅果蝇的蛹寄生蜂果蝇锤角细蜂和蝇蛹金小蜂的研究有零星报道 (羊绍武等, 2019; 仪传冬, 2019; 周长清等, 2019), 而对斑翅果蝇的幼虫寄生蜂鲜有报道, 本文对斑翅果蝇幼虫寄生蜂日本细毛环腹瘿蜂生物学特性进行系统研究, 以期对日本细毛环腹瘿蜂的繁育、保护利用和斑翅果蝇的绿色防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

斑翅果蝇: 采自云南省昆明市甸尾乡杨梅园。在实验室条件 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, RH60% $\pm$ 5%, 于养虫笼中饲养, 提供剥皮香蕉饲喂, 香蕉每 48 h 更换一次。

日本细毛环腹瘿蜂: 采自云南省昆明市甸尾乡杨梅园。在实验室环境条件下, 饲养于养虫笼中, 提供 20% 蜂蜜水喂养和提供斑翅果蝇产卵 48 h 的香蕉柱供其产卵寄生。

香蕉: 购买于沃尔玛超市都乐牌香蕉。

果蝇养虫笼: 长 50 cm $\times$ 宽 50 cm $\times$ 高 50 cm 的纱网养虫笼。

寄生蜂养虫笼: 长 38 cm × 宽 38 cm × 高 38 cm 的纱网养虫笼。

养虫罐: 长 12 cm × 宽 9 cm × 高 12 cm 的玻璃罐。

1.2 不同营养条件下日本细毛环腹瘿蜂成虫寿命测定

收集羽化 0.5 h 内的日本细毛环腹瘿蜂, 单独置于指形管 (直径 1 cm × 高 7 cm) 中, 每管 1 头, 将浸有质量浓度分别为 10%、20% 蜂蜜水、清水的脱脂棉团和不加任何物质的脱脂棉团分别塞于指形管口, 实验室条件下饲养, 以不加任何物质的脱脂棉团为空白对照。每个处理观察雌蜂、雄蜂各 20 头, 共 40 头虫。每 24 h 更换补充营养源, 每 24 h 观察 1 次, 观察直到所有供试寄生蜂死亡为止, 记录寄生蜂的死亡时间和数量, 统计寄生蜂寿命 (杨琪, 2017)。

1.3 日本细毛环腹瘿蜂行为节律观察

1.3.1 日本细毛环腹瘿蜂的羽化节律

选取同批次供日本细毛环腹瘿蜂寄生的斑翅果蝇蛹放到垫有润湿棉花的培养皿 ($D=9$ cm) 上保湿培养, 每个培养皿放供试的斑翅果蝇蛹 100 头, 将培养皿放入塑料饲养盒 (直径 12 cm × 高 4.5 cm) 中, 3 次重复, 共 300 头蛹。在实验室条件下观察寄生蜂羽化, 6:00–20:00 每 2 h 观察 1 次, 记录各时段羽化的寄生蜂数量。观察直到 3 d 内没有寄生蜂羽化为止 (杨琪, 2017)。

1.3.2 日本细毛环腹瘿蜂的产卵活动节律

取日本细毛环腹瘿蜂雌蜂 10 头与雄蜂 10 头配对分别放入养虫罐中, 并提供有斑翅果蝇幼虫的香蕉段供其寄生产卵, 每 48 h 更换香蕉段, 并提供 20% 蜂蜜水作为补充营养。于 6:00 至次日 2:00 每 2 h 观察 1 次, 每次持续观察 1 h, 连续观察 4 d。寄生蜂在香蕉段上活动并有刺探行为视为具有产卵活动行为, 记录具有产卵活动行为的寄生蜂数量和时间。

1.4 日本细毛环腹瘿蜂寄主选择与寄生动态测定

1.4.1 对斑翅果蝇不同龄期幼虫非选择性寄生比较

将装有剥皮香蕉切段的培养皿放入斑翅果蝇养虫笼内供其产卵 6 h 后取出, 待斑翅果蝇发育到 1 龄、2 龄、3 龄幼虫时, 分别放入养有若干日本细毛环腹瘿蜂的养虫笼内产卵 20 h 后取出分别放入饲养盒中, 在实验室条件下进行饲养观察至斑翅果蝇和寄生蜂完全羽化, 分别记录其羽化的虫口数量, 每处理设 4 次重复。

1.4.2 对斑翅果蝇不同龄期幼虫选择性寄生比较

不同龄期的斑翅果蝇幼虫获取同上。分别将携带斑翅果蝇 1 龄幼虫和 2 龄幼虫的 5 段香蕉放入养虫笼中内侧两个边角, 在笼口正下方放有 20% 蜂蜜水脱脂棉团作为补充营养。在日本细毛环腹瘿蜂雌蜂产卵高峰时段接入 20 头已交配无产卵经历的日本细毛环腹瘿蜂雌蜂于有 20% 蜂蜜水脱脂棉团上, 持续观察 2 h, 记录其第一次对携带斑翅果蝇各龄期幼虫香蕉的选择与刺探的寄生蜂数量, 后移除香蕉在实验室条件下饲养观察至斑翅果蝇和寄生蜂完全羽化, 记录其羽化的虫口数量。设 4 次重复, 每次重复调换携带不同龄期幼虫香蕉位置。

1.4.3 日本细毛环腹瘿蜂产卵动态

取羽化 2 h 内的日本细毛环腹瘿蜂雌、雄寄生蜂 1 对放入养虫罐中, 提供有斑翅果蝇幼虫的香蕉段供其产卵寄生 48 h, 每 48 h 移除香蕉段, 并更换新的有斑翅果蝇幼虫的香蕉段, 直至该对寄生蜂死亡为止, 提供 20% 蜂蜜水补充营养, 观察并记录斑翅果蝇和寄生蜂羽化的虫口数量, 对无果蝇也没有寄生蜂羽化的蛹进行解剖镜检, 确认其是否被产卵, 设 4 次重复。

1.5 日本细毛环腹瘿蜂不同发育阶段发育历期测定

将剥皮香蕉切段, 放入斑翅果蝇养虫笼内产卵 6 h 后取出, 待斑翅果蝇发育至 2 龄幼虫时, 放入养有若干寄生蜂养虫笼供其寄生 6 h 后取出, 在实验室条件下饲养观察, 每隔 6 h 从香蕉段内取 10 头斑翅果蝇幼虫进行解剖, 记录寄生蜂发育情况, 当寄生蜂卵全部孵化后, 每 24 h 观察一次, 直至寄生蜂羽化, 设 4 次重复。

1.6 数据处理及分析

采用 Microsoft Office Excel 计算均值。寄生蜂寿命用单因素方差分析 (ANOVA) 并应用 Tukey 方法进行多重比较分析。寄生蜂幼虫存活率、蛹存活率、性比、发育历期、选择偏好采用独立样本 t 检验进行差异显著性分析。试验数据在 SPSS19.0 软件中进行统计分析。性比为雌性所占百分比。

2 结果与分析

2.1 不同营养条件下日本细毛环腹瘿蜂寿命

在不同营养条件下日本细毛环腹瘿蜂的成蜂

寿命有差异 (表 1), 与对照相比, 清水、10% 蜂蜜水、20% 蜂蜜水处理都能不同程度的延长雌蜂和雄蜂的寿命, 雌蜂的寿命给予 20% 蜂蜜水处理达到最长, 为 34.55 d, 显著高于 10% 蜂蜜水、清水和对照的寿命 ($F_{3,79} = 55.24, P < 0.001$), 给予 10% 蜂蜜水处理的寿命次之, 为 25.75 d, 显著高于清水和对照的寿命, 雌蜂的寿命给予清水和对照处理无显著差异; 雄蜂的寿命给予 20% 和 10% 蜂蜜水处理, 分别为 30.25 d 和 21.60 d, 显著高于清水和对照处理 ($F_{3,79} = 49.39, P < 0.001$), 雄蜂的寿命给予 20% 蜂蜜水、10% 蜂蜜水处理无显著差异, 给予清水和对照处理无显著差异。总体统计结果显示, 不同补充营养条件下, 日本细毛环腹瘦蜂成虫的寿命长短依次为: 20% 蜂蜜水 > 10% 蜂蜜水 > 清水 > 对照, 给予清水和对照处理的寄生蜂寿命无显著差异, 其它各处理间差异显著 (表 1)。

2.2 日本细毛环腹瘦蜂行为节律

2.2.1 日本细毛环腹瘦蜂的羽化节律

从第一头日本细毛环腹瘦蜂羽化开始至寄生蜂全部羽化持续时间共 8 d。第 3–5 天羽化的寄生蜂数量最多, 其中第 4 天为寄生蜂羽化高峰期 (图 1A)。在羽化期中每天 6:00–20:00 均有寄生蜂羽化, 早晨 6:00–8:00 羽化的寄生蜂数量为 (8 头/2 h), 之后寄生蜂羽化的虫口数量迅速上升, 至 10:00–12:00 羽化的寄生蜂数量最多 (26 头/2 h), 达到寄生蜂羽化的峰值, 之后逐渐下降, 12:00–14:00 羽化的寄生蜂数量为 (12.33 头/2 h), 18:00–20:00 羽化的寄生蜂数量仅为 (1.33 头/2h), 20:00 至次日 6:00 无寄生蜂羽化 (图 1B)。从羽化的总体数量统计结果显示, 上午 6:00 至 12:00 羽化的寄生蜂数量 (56.33 头) 高于下午 12:00–20:00 羽化的寄生蜂数量 (34.67 头)。

表 1 不同营养条件下日本细毛环腹瘦蜂寿命

Table 1 Lifetime of *Leptopilina japonica* at different nutritional conditions

营养条件 Nutritional conditions	寿命 (d) Lifetime		
	雌蜂 Female	雄蜂 Male	平均数 Mean
对照 Control	1.60 ± 0.13 c	2.01 ± 0.20 b	1.81 ± 0.12 c
清水 Purified water	3.25 ± 0.32 c	3.73 ± 0.25 b	3.49 ± 0.20 c
10% 蜂蜜水 10% honey water	25.75 ± 3.31 b	21.60 ± 2.31 a	23.68 ± 2.02 b
20% 蜂蜜水 20% honey water	34.55 ± 2.91 a	25.95 ± 2.58 a	30.25 ± 2.04 a

注: 表中数值为平均值 ± 标准误, 同一列数据后不同字母表示经 Turkey 法检验在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。表 2 同。
Note: Values were mean ± SE, and data in the same column followed by different letters indicated significant difference at $P < 0.05$ level by Turkey test. The same for table 2.

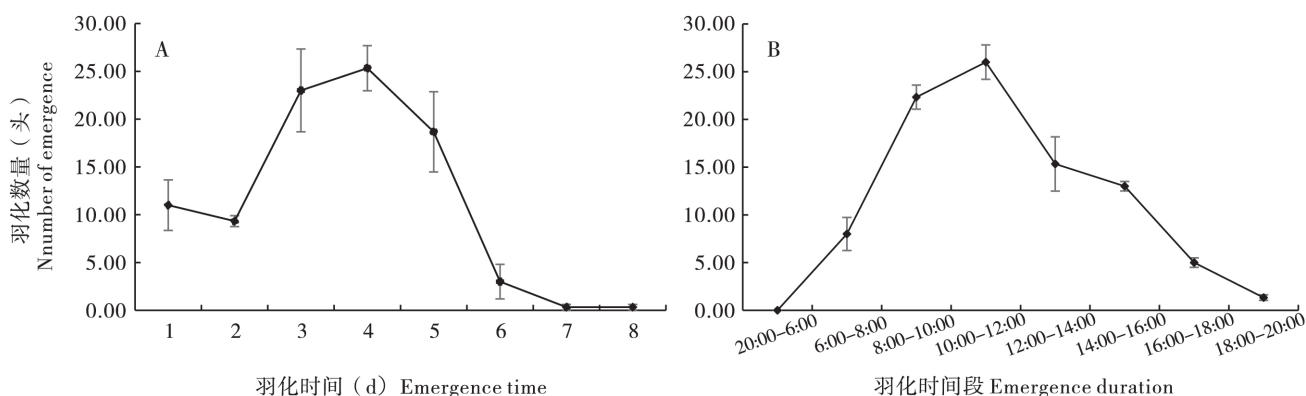


图 1 日本细毛环腹瘦蜂的不同时间羽化节律 (A) 和不同时间段羽化节律 (B)

Fig. 1 Emergence rhythm of *Leptopilina japonica* at different day (A) and different duration (B)

注: 图中数值为平均值 ± 标准误, 图 2–4 同。Note: The data were mean ± SE, the same for figure 2–4.

2.2.2 日本细毛环腹瘿蜂的产卵活动节律

在日本细毛环腹瘿蜂产卵期, 每天 6:00 至次日 2:00 均有产卵活动行为。6:00–14:00 具产卵活动行为的寄生蜂数量缓慢增加, 14:00–22:00 具有产卵行为寄生蜂数较多, 16:00–18:00 具产卵活动行为的日本细毛环腹瘿蜂数量达到高峰, 为 4.50 头, 22:00 至次日 2:00 具产卵活动行为的寄生蜂数逐渐减少 (图 2)。

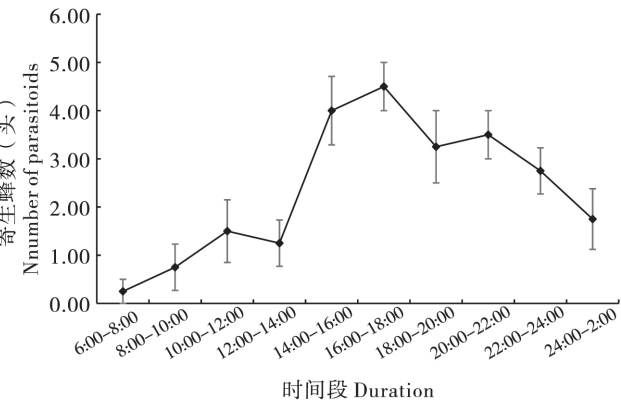


图 2 日本细毛环腹瘿蜂不同时间段的产卵活动节律
Fig. 2 Oviposition activity rhythm of *Leptopilina japonica* at different duration

2.3 日本细毛环腹瘿蜂寄主选择与寄生动态

2.3.1 日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫非选择性寄生

日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫的非选择性寄生比较发现, 日本细毛环腹瘿蜂只寄生斑翅果蝇的 1 龄幼虫和 2 龄幼虫, 斑翅果蝇的 3 龄幼虫均没有被寄生。

日本细毛环腹瘿蜂寄生不同龄期斑翅果蝇幼虫对其生长发育有一定的影响, 表现为寄生不同龄期斑翅果蝇幼虫对寄生蜂后代幼虫的存活率 ($t = 0.39$, $df = 6$, $P = 0.71$)、雌蜂 ($t = 0.56$, $df = 6$, $P = 0.60$) 和雄蜂 ($t = 1.87$, $df = 6$, $P = 0.11$) 的发育历期没有显著的影响, 但对日本细毛环腹瘿蜂后代蛹的存活率 ($t = 3.57$, $df = 6$, $P < 0.05$)、性比 ($t = 11.55$, $df = 6$, $P < 0.01$)、总体的发育历期 ($t = 3.08$, $df = 6$, $P < 0.05$) 影响显著 (表 2)。寄生于斑翅果蝇 2 龄幼虫的日本细毛环腹瘿蜂后代蛹的存活率、性比显著高于寄生斑翅果蝇 1 龄幼虫, 说明斑翅果蝇 2 龄幼虫对日本细毛环腹瘿蜂有更高的适合度, 有利于寄生蜂的繁衍。

表 2 日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫非选择性寄生比较

Table 2 No-choice test comparison among different larvae instar of *Drosophila suzukii* by *Leptopilina japonica*

斑翅果蝇幼虫龄期 Larvae instar of <i>Drosophila suzukii</i>	日本细毛环腹瘿蜂 <i>Leptopilina japonica</i>	幼虫	蛹存活	性比 (%) Sex ratio	发育历期 (d) Developmental duration		
	存活率 (%) Larvae survival rate	率 (%) Pupa survival rate	雌蜂 Female		雄蜂 Male	平均数 Mean	
	1 龄幼虫 1 st instar larvae	86.58 ±	88.05 ±	40.08 ±	19.93 ±	17.06 ±	18.21 ±
		1.28 a	1.14 b	2.69 b	0.40 a	0.38 a	0.42 b
2 龄幼虫 2 nd instar larvae	87.61 ±	92.85 ±	73.16 ±	20.17 ±	17.85 ±	19.57 ±	
	2.34 a	0.71 a	0.99 a	0.15 a	0.18 a	0.14 a	
3 龄幼虫 3 nd instar larvae	0	0	0	0	0	0	

注: 同一列数据后不同字母表示经 t 法检验在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。Note: In the same column followed by different letters indicated significant difference at $P < 0.05$ level by t-test.

2.3.2 日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫选择性寄生

日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫选择性寄生的结果显示 (图 3), 日本细毛环腹瘿蜂选择携带斑翅果蝇 2 龄幼虫香蕉段的寄生蜂数为 12.25 头, 显著高于选择携带斑翅果蝇 1 龄幼虫香蕉段的寄生蜂数 4.75 头 ($t = 8.43$, $df = 6$, $P < 0.05$)。再将经日本细毛环腹瘿蜂产卵寄生的携带

不同龄期斑翅果蝇幼虫香蕉段放入养虫罐进行进一步饲养观察, 结果表明, 从携带斑翅果蝇 2 龄幼虫香蕉段中羽化出的日本细毛环腹瘿蜂数量为 11.50 头, 显著高于从携带斑翅果蝇 1 龄幼虫香蕉段中羽化出的寄生蜂数量 3.25 头 ($t = 7.20$, $df = 6$, $P < 0.05$)。说明日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇 2 龄幼虫具有选择偏好。

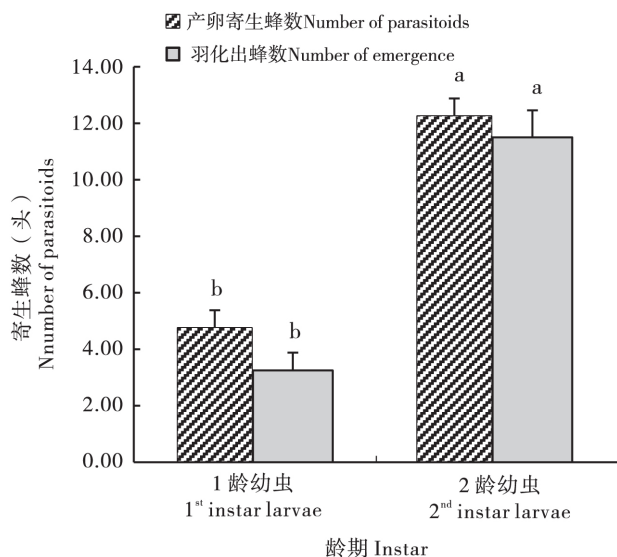


图3 日本细毛环腹瘦蜂对斑翅果蝇不同龄期幼虫选择性寄生比较

Fig. 3 Choice test comparison between different larvae instar of *Drosophila suzukii* by *Leptopilina japonica*

注: 图柱上不同字母表示不同龄期幼虫在产卵寄生蜂数或羽化出蜂数经 t 法检验在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。
Note: Different letters above bars indicated that significant difference the parasitoids or the number of emergence between different larvae instar at $P < 0.05$ level by t-test.

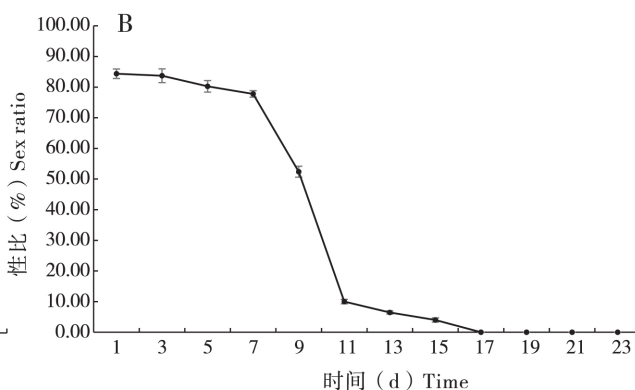
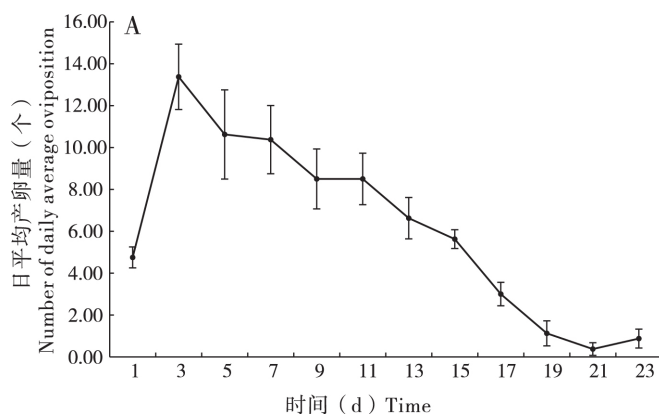


图4 日本细毛环腹瘦蜂日平均产卵寄生量 (A) 与后代性比 (B)

Fig. 4 Number of daily average oviposition (A) and offspring sex ratio (B) of *Leptopilina japonica*

3 结论与讨论

日本细毛环腹瘦蜂成虫的寿命与补充营养关系密切, 不同浓度的蜂蜜水及清水相对于无补充营养的对照来说, 都能不同程度的延长成蜂寿命, 且补充不同浓度蜂蜜水可显著延长成蜂寿命, 其中 20% 蜂蜜水处理的寿命最长。这与其他种类寄

2.3.3 日本细毛环腹瘦蜂产卵寄生动态

日本细毛环腹瘦蜂羽化后的第 1–23 天都有产卵寄生行为, 3 日龄的日本细毛环腹瘦蜂产卵寄生量达到高峰, 为 13.38 头, 随着寄生蜂日龄的增加, 日平均产卵寄生量缓慢下降。日本细毛环腹瘦蜂平均单雌产卵寄生量为 147.50 头 (图 4A)。1~7 日龄的日本细毛环腹瘦蜂雌蜂所产后代性比较高, 为 77.78%~84.38%, 性比变化平稳, 9 日龄的日本细毛环腹瘦蜂所产后代性比急剧下降, 11~15 日龄的日本细毛环腹瘦蜂所产后代性比为 4.00%~10.00%, 17~23 日龄的日本细毛环腹瘦蜂所产后代只有雄性, 无雌性后代 (图 4B)。

2.4 日本细毛环腹瘦蜂不同发育阶段发育历期

日本细毛环腹瘦蜂是一种跨幼虫期、蛹期的跨期寄生蜂, 日本细毛环腹瘦蜂的生长发育经历卵、幼虫、蛹和成虫 4 个发育阶段, 卵期至蛹期均在斑翅果蝇体内发育, 雌性日本细毛环腹瘦蜂将卵产在斑翅果蝇 1~2 龄幼虫体内, 并在斑翅果蝇幼虫期孵化。日本细毛环腹瘦蜂幼虫期跨斑翅果蝇的幼虫期至蛹期, 在实验室饲养条件下日本细毛环腹瘦蜂的卵期平均为 1.30 d, 幼虫期平均 8.67 d, 雄蜂蛹期平均为 8.86 d, 雌蜂蛹期平均为 10.27 d, 雄蜂的羽化时间比雌蜂平均提前 1.41 d。

生蜂的研究报道类似, 补充营养对寄生蜂的寿命有重要影响, 寄生蜂活动需要消耗大量的能量, 通过摄取糖源营养物质获得能量, 保证自身营养的消耗 (杨琪, 2017; 李小敏等, 2018)。Wang 等 (2018) 在提供 50% 蜂蜜水与寄主的条件下, 测得日本细毛环腹瘦蜂雌蜂寿命为 18.7 d, 低于本研究的 25.75 d。这一差异可能是寄生蜂取食糖液浓度不同所致, 高浓度糖液可导致虫体内渗透

压升高, 进而影响生理生活能力 (李小敏等, 2018), 并且本研究是在无寄主幼虫的情况下测得其寿命, 而寄生蜂对寄主搜寻与产卵都需要消耗更多的能量从而导致寿命减短。通过对日本细毛环腹瘿蜂行为活动节律观察得到, 日本细毛环腹瘿蜂羽化行为与产卵行为呈现明显的昼夜节律, 夜间无寄生蜂羽化。日本细毛环腹瘿蜂羽化期为 8 d, 第 4 天为羽化高峰期, 羽化期每日 10:00 – 12:00 为羽化高峰期, 其活动节律与黄色潜蝇茧蜂和哥德恩蚜小蜂表现相似 (邹游兴, 2012; 杨琪, 2017); 每日 16:00 – 18:00 为产卵活动高峰期与蝶蛹金小蜂类似 (江婷等, 2018)。研究结果为日本细毛环腹瘿蜂保护利用提供了科学依据。在日本细毛环腹瘿蜂对不同寄主龄期非选择性试验中发现, 日本细毛环腹瘿蜂不寄生斑翅果蝇 3 龄幼虫, 斑翅果蝇幼虫的龄期对日本细毛环腹瘿蜂的生长发育有一定的影响, 日本细毛环腹瘿蜂对斑翅果蝇 2 龄幼虫表现出更高的适合度, 斑翅果蝇 2 龄幼虫有利于日本细毛环腹瘿蜂的繁育。在日本细毛环腹瘿蜂对寄主龄期的选择性试验结果显示, 日本细毛环腹瘿蜂表现出对斑翅果蝇 2 龄幼虫的显著寄生偏好。Wang 等 (2018) 研究发现, 在人工饲料上, 与 3 ~ 4 日龄斑翅果蝇幼虫相比, 日本细毛环腹瘿蜂显著偏向于寄生早期 1 ~ 2 日龄的果蝇幼虫与本研究结果类似。日本细毛环腹瘿蜂从卵到成虫的发育历期为雌蜂 20.17 d, 雄蜂 17.85 d, 平均为 19.57 d。Girod 等 (2018) 的研究日本细毛环腹瘿蜂雌蜂发育历期 31.0 d, 雄蜂发育历期 26.8 d, Wang 等 (2018) 的研究日本细毛环腹瘿蜂总体发育历期 28.1 d。发育历期差异可能由于供试昆虫的地理种群不同所致, 同种昆虫的不同地理种群的发育历期, 寿命和产卵量等基本生物学特性存在一定的差异 (朱文超等, 2015)。日本细毛环腹瘿蜂雄蜂的羽化时间比雌蜂平均提前 1.41 d, 周思聪等 (2018) 研究同属的另一种 *Leptopilina boulardi* 也得到了类似的结果。Wang 等 (2018) 发现日本细毛环腹瘿蜂雌蜂在羽化后 1 ~ 2 d 内获卵量达到最大, 王问学 (1990) 指出影响性比分配的主要因素有: 雌蜂年龄、寄主的大小和质量好坏、雌蜂营养等。本研究中 1 ~ 23 日龄的日本细毛环腹瘿蜂都有产卵寄生行为, 3 日龄雌蜂的产卵寄生量达到高峰, 随着雌蜂日龄的增加, 雌性后代比例逐渐下降。斑翅果蝇存在较强的寄主免疫反应, 在入侵地, 有部分幼虫寄生蜂种类能在斑翅果蝇幼虫体内产卵, 但是不能

完成发育或者卵和幼虫被其免疫细胞包裹导致死亡 (蔡普默等, 2017; Alessia *et al.*, 2018)。本研究在对日本细毛环腹瘿蜂的产卵寄生动态研究中发现其能在斑翅果蝇幼虫体内完成发育且未发现卵和幼虫被免疫细胞包裹导致死亡的现象。由于地理种群不同, 日本细毛环腹瘿蜂的发育历期和寄生不同寄主龄期幼虫表现出不同适合度 (朱文超等, 2015)。因此, 利用日本细毛环腹瘿蜂防治斑翅果蝇实践应该注意选择合适的寄生蜂种群, 放蜂时间应注意选择斑翅果蝇幼虫的发育龄期, 以提高寄生蜂的寄生效率。

调查发现日本细毛环腹瘿蜂为斑翅果蝇优势寄生性天敌之一, 对斑翅果蝇具有一定的控制潜能, 本文对日本细毛环腹瘿蜂的生物学特性进行了观察研究, 丰富和补充了前人的研究结果, 为该蜂的保护利用提供重要的科学依据。对进一步深入研究该蜂的寄生行为、寄生率, 对生态环境的适应性、控害效应和控害特性等奠定了基础, 对斑翅果蝇综合防治、保护生态环境、减少农药的使用等方面有重要意义。

参考文献 (References)

- Alessia, Iacovone, Nicolas, *et al.* Time – course analysis of *Drosophila suzukii* interaction with endoparasitoid wasps evidences a delayed encapsulation response compared to *D. melanogaster* [J]. *PLoS ONE*, 2015.
- Asplen MK, Anfora G, Biondi A, *et al.* Invasion biology of spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*): A global perspective and future priorities [J]. *Journal Pest Science*, 2015, 88: 469 – 494.
- Atallah J, Teixeira L, Salazar R, *et al.* The making of a pest: The evolution of a fruit – penetrating ovipositor in *Drosophila suzukii* and related species [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014, 281 (1781): 20132840.
- Cai PM, Li P, Xie DS, *et al.* Progress in research on the biological control of *Drosophila suzukii* Matsumura [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (5): 705 – 715. [蔡普默, 李萍, 谢冬生, 等. 斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 生物防治研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (5): 705 – 715]
- Chabert S, Allemand R, Poyet M, *et al.* Ability of European parasitoids (Hymenoptera) to control a new invasive Asiatic pest, *Drosophila suzukii* [J]. *Biological Control*, 2012, 63 (1): 40 – 47.
- Cini A, Ioriatti C, Anfora G. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management [J]. *Bulletin of Insectology*, 2012, 65 (1): 149 – 160.
- Daane KM, Wang XG, Biondi A, *et al.* First exploration of parasitoids of *Drosophila suzukii* in South Korea as potential classical biological agents [J]. *Journal of Pest Science*, 2016, 89 (3): 823 – 835.
- Fang Y, Wu H, Wang JX, *et al.* Investigation on the species of parasitic

- natural enemies of *Drosophila suzukii* in Yunnan [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019 (3): 592–598. [方圆, 吴浩, 王金秀, 等. 云南省斑翅果蝇寄生性天敌昆虫种类调查 [J]. 环境昆虫学报, 2019 (3): 592–598]
- Girod P, Rossignaud L, Haye T, et al. Development of Asian parasitoids in larvae of *Drosophila suzukii* feeding on blueberry and artificial diet [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2018, 00: 1–12.
- Hauser M. A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification [J]. *Pest Management Science*, 2011, 67 (11): 1352–1357.
- Haye T, Girod P, Cuthbertson AGS, et al. Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world [J]. *Journal of Pest Science*, 2016, 89 (3): 643–651.
- Jiang T, Fu DM, Wu ZP, et al. Oviposition behavior of the parasitoid *Pteromalus puparum* on pupa of *Pieris melete* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (2): 240–246. [江婷, 付道猛, 吴珍平, 等. 蝶蛹金小蜂对黑纹粉蝶蛹的寄生产卵习性 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (2): 240–246]
- Kasuya N, Mitsui H, Ideo S, et al. Ecological, morphological and molecular studies on *Ganaspis* individuals (Hymenoptera: Figitidae) attacking *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2013, 48 (1): 87–92.
- Keesey IW, Knaden M, Hansson BS. Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2015, 41 (2): 121–128.
- Kenis M, Tonina L, Eschen R, et al. Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe [J]. *Journal of Pest Science*, 2016, 89 (3): 735–748.
- Li XM, Liu JA, Dong WT, et al. Effects of supplementary nutrition on longevity and fecundity of *Cotesia ruficornis* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (2): 208–213. [李小敏, 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]
- Liu B. A Study on the Volatiles of Victim Waxberry and their Attracting Action of Natural Enemies and the Mating Behavior of *Trichopria drosophilae* [D]. Kunming: Yunnan Agriculture University, 2018. [刘冰. 虫害杨梅挥发物对天敌引诱及果蝇锤角细蜂交配行为研究 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2018]
- Ni BJ. Study on the occurrence of red eye and fruit fly in *Myrica rubra* and its control technology [J]. *Yunnan Agricultural*, 2015, 4: 24–25. [倪伯杰. 杨梅红眼果蝇发生为害规律及防治技术探讨 [J]. 云南农业, 2015, 4: 24–25]
- Qian YH, Liu YL, Li ST, et al. Composition and distribution of *Drosophila melanogaster* species in China [J]. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 2006, 4: 397–402. [钱远槐, 刘艳玲, 李守涛, 等. 中国黑腹果蝇种群的组成与分布 [J]. 湖北大学学报 (自然科学版), 2006, 4: 397–402]
- Walsh DB, Bolda MP, Goodhue RE, et al. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential [J]. *Journal of Integrated Pest Management*, 2011, 2 (1): 1–7.
- Wang WX. Sex allocation by parasitic Hymenoptera [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1990, 6 (4): 173–178. [王问学. 寄生蜂的性比分配 [J]. 中国生物防治通报, 1990, 6 (4): 173–178]
- Wang XG, Nance AH, Jones JML, et al. Aspects of the biology and reproductive strategy of two Asian larval parasitoids evaluated for classical biological control of *Drosophila suzukii* [J]. *Biological Control*, 2018, 121: 58–65.
- Yang Q. Studies on the Biology and Parasitism of *Opius flavus* Weng et Chen (Hymenoptera: Braconidae), a Parasite of *Liriomyza sativae* Blandhard (Diptera: Agromyzidae) [D]. Haikou: Hainan University, 2017. [杨琪. 美洲斑潜蝇寄生蜂黄色潜蝇茧蜂的生物学及寄生作用研究 [D]. 海口: 海南大学, 2017]
- Yang SW, Chen SH, Zhang XM, et al. Safety evaluation of four insecticides on *Trichopria drosophilae* in indoor condition [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2019, 34 (6): 949–953. [羊绍武, 陈诗涵, 张晓明, 等. 4种杀虫剂对果蝇锤角细蜂 (*Trichopria drosophilae*) 的室内安全性评价 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2019, 34 (6): 949–953]
- Yi CD. Studies Basic Research on the Biology, Rapid Reproduction and Cold Storage of *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae), One of Parasitoids of *Drosophila suzukii* Matsumura [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019. [仪传冬. 斑翅果蝇1种寄生蜂—毛角锤角细蜂的生物学及其快繁与冷藏的基础研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2019]
- Zhang KC, Yan GH, Guo XJ, et al. Research review on spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014 (4): 717–721. [张开春, 闫国华, 郭晓军, 等. 斑翅果蝇 (*Drosophila suzukii*) 研究现状 [J]. 果树学报, 2014 (4): 717–721]
- Zhou CQ, Zhan HX, Xiao C, et al. The development, fecundity, and functional response of *Pachycrepoides vindemmiae* on the pupae of *Drosophila melanogaster* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019 (3): 599–604. [周长青, 詹海霞, 肖春, 等. 以黑腹果蝇为寄主的蝇蛹金小蜂生长发育、繁殖及功能反应研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019 (3): 599–604]
- Zhou SC, Chen JN, Pang L, et al. Biological characteristics of *Leptopilina boulardi* (Hymenoptera: Figitidae) and the effects of its parasitism on the growth and development of *Drosophila melanogaster* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (9): 1040–1046. [周思聪, 陈佳妮, 庞兰, 等. 布拉迪小环腹瘿蜂的生物学特性及其寄生对黑腹果蝇生长发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (9): 1040–1046.]
- Zhu WC, Hou WJ, Lin KJ, et al. Biological characteristics of different geographical populations of the small brown plant hopper *Laodelphax striatellus* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 3 (1): 31–38. [朱文超, 侯文杰, 林克剑, 等. 不同地理种群灰飞虱生物学特性差异 [J]. 植物保护学报, 2015, 3 (1): 31–38]
- Zou YX. Studies on Basic Biology and Ecology of *Encarsia guadeloupae* Viggiani [D]. Haikou: Hainan University, 2012. [邹游兴. 哥德恩蚜小蜂的基础生物学和生态学研究 [D]. 海口: 海南大学, 2012]