

不同寄主竹种上竹瘿广肩小蜂生物学特性研究*

耿显胜^{1**} 陈奕洁² 石坚² 舒金平¹ 张威¹ 吴燕芬²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400; 2. 浙江省德清县森林病虫害防治检疫站, 德清 313200)

摘要 【目的】研究竹瘿广肩小蜂 *Aiolomorpha rhopaloides* Walker 在业平竹、早竹和毛竹寄主上的生物学特性。【方法】采用虫瘿昆虫的室内饲养法获取 3 种不同寄主来源的竹瘿广肩小蜂成虫; 采用形态学结合分子生物学的方法进行物种鉴定; 通过称重、游标卡尺测量、显微解剖和计数等方法测定虫瘿的大小、竹瘿广肩小蜂成虫的体重、性比、寿命、卵巢管数量、初始卵量和卵的大小。【结果】竹瘿广肩小蜂在业平竹、早竹和毛竹上形成两端略细的圆柱体型的单室虫瘿, 业平竹虫瘿最大 (118.09 ± 28.32) mm³, 早竹虫瘿次之 (108.92 ± 28.34) mm³, 毛竹虫瘿最小 (67.38 ± 15.44) mm³。竹瘿广肩小蜂在业平竹和早竹上的羽化出孔时间早于毛竹。羽化出孔的竹瘿广肩小蜂成虫的雌雄性比分别为业平竹 1.79 : 1、早竹 1.94 : 1 和毛竹 0.82 : 1。业平竹寄主来源的竹瘿广肩小蜂雌成虫具有最大的体重 (7.90 ± 0.83) mg/头、最多的初始卵量 (119.4 ± 13.69) 粒/头和最大的卵体大小 (长 (545.36 ± 30.74) μm, 宽 (137.27 ± 12.20) μm)。早竹寄主来源的竹瘿广肩小蜂雌成虫的体重 (6.06 ± 0.76) mg/头显著高于毛竹寄主来源 (4.25 ± 0.89) mg/头 ($P < 0.05$), 但两种寄主来源竹瘿广肩小蜂雌成虫的初始卵量和卵的大小差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。【结论】竹瘿广肩小蜂属于早熟卵型小蜂, 该虫在业平竹、早竹和毛竹寄主上的生物学特性差异显著。**关键词** 竹瘿广肩小蜂; 业平竹; 初始卵量; 早熟卵; 生态调控

Biological characteristics of *Aiolomorpha rhopaloides* Walker on different bamboo species

GENG Xian-Sheng^{1**} CHEN Yi-Jie² SHI Jian² SHU Jin-Ping¹ ZHANG Wei¹ WU Yan-Fen²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China;

2. Station of Forest Disease and Pest Control and Quarantine of Deqing County, Deqing 313200, China)

Abstract [Objectives] To elucidate the biological characteristics of *Aiolomorpha rhopaloides* Walker on *Semiarundinaria fastuosa*, *Phyllostachys praecox*, and *Phyllostachys edulis*. [Methods] Three adult populations of *A. rhopaloides* were obtained by laboratory rearing of gall insects. Species identification was based on a combination of morphological and molecular methods. Gall size, adult weight, sex ratio, longevity, initial egg load, number of ovarioles and egg size, were determined by weighing, measuring with vernier calipers, microscopic examination and counting. [Results] Cylindrical, single chamber galls were formed on *S. fastuosa*, *Ph. praecox*, and *Ph. edulis*. The size of galls on different host plants could be ranked in descending order as follows; *S. fastuosa* (118.09 ± 28.32) mm³ > *Ph. praecox* (108.92 ± 28.34) mm³ > *Ph. edulis* (67.38 ± 15.44) mm³. Adults emerged earlier on *S. fastuosa* and *Ph. praecox* than on *Ph. edulis*. The adult female/male ratio on *S. fastuosa*, *Ph. praecox*, and *Ph. edulis* was 1.791, 1.94 : 1 and 0.82 : 1, respectively. Adult females on *S. fastuosa* were heavier (7.90 ± 0.83) mg/adult, had the most initial egg load (119.4 ± 13.69) eggs/adult and the largest egg size (length (545.36 ± 30.74) μm, width (137.27 ± 12.20) μm). The weight of adult females on *Ph. praecox* was significantly higher than that of those on *Ph. edulis* ($P < 0.05$) but there was no significant difference in initial egg load and egg size between these host plants ($P > 0.05$). [Conclusion] *A. rhopaloides* is a pro-ovigenic chalcidoid and adult female size, initial egg load and egg size varies significantly among the host plants *S. fastuosa*, *Ph. praecox*, and *Ph. edulis*.

Key words *Aiolomorpha rhopaloides* Walker; *Semiarundinaria fastuosa*; initial egg load; pro-ovigeny; ecological regulation and management

*资助项目 Supported projects: 浙江省科技计划项目公益技术应用研究类 (2017C32055)

**第一作者 First author, E-mail: gxsh2001@163.com

收稿日期 Received: 2018-08-03; 接受日期 Accepted: 2018-12-03

竹瘿广肩小蜂 *Aiolomorpha rhopaloides* Walker 隶属于广肩小蜂科 (Eurytomidae) 竹瘿广肩小蜂属 (*Aiolomorpha*), 是广泛分布于我国和日本的危害严重的竹子造瘿害虫, 其危害致使竹子长势减弱, 发笋减少, 竹叶早落, 竹枝韧性降低, 竹材干脆, 材质下降, 是阻碍竹林高效经营的重要因素 (Takahashi and Mizuta, 1971; 王问学等, 1994; 徐天森和王浩杰, 2004)。

竹瘿广肩小蜂是竹子上的一种重要的寡食性害虫, 日本学者报道了该虫在毛竹 *Phyllostachys edulis* 和五月季竹 *Ph. bambusoides* 上取食和危害 (Shibata, 2002), 我国学者研究发现, 该虫能够危害毛竹、雷竹和苦竹 (王浩杰等, 1996; 何孙强等, 2016)。本研究通过对浙江省竹子害虫的调查, 发现该虫除了危害刚竹属的毛竹、早竹、雷竹外, 也取食和危害业平竹属的业平竹 *Semiarundinaria fastuosa*。

竹瘿广肩小蜂雌虫产卵于竹小枝内部, 其卵、幼虫、蛹和初羽化成虫生活于封闭虫瘿的内部, 羽化的成虫咬破虫瘿壁并从虫瘿中钻出来, 因此竹瘿广肩小蜂以固定的寄主取食, 其成虫大小/重量、发育历期、寿命、潜在生殖力 (Potential fecundity)、性比等生物学特性受到单一寄主竹种的直接影响。不同竹种的寄主植物质量 (Host plant quality) 不同, 其对竹瘿广肩小蜂的防御能力和营养价值也不同, 因此不同寄主竹种上竹瘿广肩小蜂的生物学特性也存在差异性。本研究通过虫瘿昆虫的室内饲养法获得了业平竹、早竹和毛竹 3 种寄主来源的竹瘿广肩小蜂种群, 测定了成虫的体重、寿命、性比、卵巢管数量、初始卵量和卵大小等生物学特性, 分析和比较了 3 个不同种群竹瘿广肩小蜂生物学特性的差异性, 研究结果为深入开展竹瘿广肩小蜂的发生危害规律、寄主选择机制及生态调控的研究提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 虫瘿的收集和虫瘿昆虫的饲养

在浙江省杭州市庙山坞试验林场和浙江省德清县分别采集业平竹 *S. fastuosa* 虫瘿、早竹

Ph. praecox 虫瘿和毛竹 *Ph. edulis* 虫瘿, 带回实验室, 剥离包围在虫瘿上的叶鞘, 使用游标卡尺测量虫瘿的长度和直径, 虫瘿的大小采用圆柱体体积计算公式估算。

剥离叶鞘的虫瘿放置于指形管中, 使用脱脂棉团封住管口, 编号后放于方形塑料盒子中, 盖上无菌水沾湿的纱布, 置于实验室内没有阳光直射的地方饲养, 观察虫瘿昆虫的羽化出孔情况, 并收集虫瘿昆虫。

1.2 造瘿昆虫的物种鉴定

采用形态学和分子生物学的方法对造瘿昆虫进行分类鉴定。室内饲养获得的造瘿昆虫, 在 VHX5000 显微镜下观察各部分的形态, 参考《浙江蜂类志》进行形态学鉴定。采用 LSU rDNA D2 区的序列分析法对造瘿昆虫进行分子生物学鉴定。

单头造瘿昆虫, 放置于 2 mL 的离心管中, 加入研磨钢珠, 盖上离心管盖, 放入研磨仪插槽中, 液氮速冻 1-2 min, 并将带样品的插槽固定于研磨仪 (Tissue lyser-48) 上, 60 Hz 下研磨 60 s。取下研磨好的样品, 使用通用型基因组提取试剂盒 (TaKaRa MiniBEST Universal Genomic DNA Extraction Kit Ver.5.0) 提取总 DNA, 使用引物对 28S-D2F AGTCGTGTTGCTTGATAGTGCAG /28S-D2R TTGGTCCGTGTTTCAAGACGGG 进行 PCR 扩增 (Campbell *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2004)。PCR 扩增的反应体系为 2'PCR Mix 10 μ L, 10 μ mol·L⁻¹ 的正、反向引物各 0.6 μ L, 模板 1 μ L, 加 ddH₂O 补足 20 μ L。PCR 扩增的反应条件为: 94 预变性 5 min; 94 变性 30 s, 52 退火 30 s, 72 延伸 30 s; 72 延伸 7 min, 循环数为 35。PCR 产物经凝胶电泳分析, 阳性的 PCR 扩增产物送铂尚生物技术 (上海) 有限公司测序。获得的序列进行 NCBI 在线比对和 DNAMAN 6.0 比对分析。

1.3 竹瘿广肩小蜂成虫体重和雌成虫寿命测定

羽化出孔当日的竹瘿广肩小蜂, 转移到 1.5 mL 的离心管中, 采用电子分析天平 (赛多利

斯 BSA124S) 测定竹瘿广肩小蜂成虫的体重。

羽化出孔当日的竹瘿广肩小蜂雌虫, 依据其寄主不同分为业平竹来源、早竹来源和毛竹来源 3 组, 转移到指形管中, 每管 1 头, 使用脱脂棉团封住管口, 放于方形塑料盒子中, 盖上无菌水沾湿的纱布, 置于实验室内没有阳光直射的地方饲养。每天观察一次, 记录竹瘿广肩小蜂的死亡情况, 统计其寿命。

1.4 竹瘿广肩小蜂卵巢管、初始卵量和卵大小的测定

羽化出孔当日的竹瘿广肩小蜂置于 - 20 冰箱中冷冻 1 h, 处死活虫。在干净的载玻片上滴加 50 μ L 的 Ringer 溶液, 将死亡的竹瘿广肩小蜂雌虫置于玻片的液滴中, 使用解剖刀将虫体的腹部与头胸部分离, 弃除头胸部, 保留腹部。在体式显微镜 (Motic SMZ168) 下使用 0 号昆虫针对腹部进行解剖, 解剖时一只手用昆虫针按住产卵器外板, 另一只手用昆虫针沿腹部切口处插入腹部, 并向背侧方向拉动, 将腹部的外骨骼与内部的组织器官分离。随后再使用昆虫针将卵巢管与产卵器分离, 并剥离昆虫的肠道、脂肪体等非生殖系统的器官组织。滴加 50 μ L 2% 的酸性品红染液染色 10 min 以上, 于超景深三维显微镜 (VHX5000) 下观察, 统计每头竹瘿广肩小蜂雌虫卵巢管的数量和卵的数量, 使用显微镜软件的测量模块测定卵体的长度和最大宽度, 以及卵柄的长度。

1.5 数据处理

使用 EXCEL 2010 和 SPSS 23.0 处理获取的数据。使用 SPSS 23.0 对数据进行描述性统计, 并使用单因素方差分析的 LSD 法和秩和检验法对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 造瘿昆虫形成虫瘿的形态特征

竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子上产卵和取食后, 致使竹枝的节间膨大, 形成两端略细的圆柱体型的单室虫瘿 (图 1)。剥离包围在虫瘿上的叶鞘, 使用游标卡尺测量虫瘿的长度和直径, 采用圆柱体体积计算公式估算虫瘿的大小。统计学分析结果表明, 竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子上形成虫瘿的长度存在显著差异 (秩和检验: $\chi^2=43.72$; $df=2$; $P=0.00<0.05$), 早竹虫瘿和叶平竹虫瘿的长度显著大于毛竹虫瘿 ($P<0.05$)。3 种竹子上虫瘿的直径也存在显著差异 ($F=25.56$; $df=2, 77$; $P=0.00<0.05$), 业平竹虫瘿的直径显著大于早竹虫瘿 ($P<0.05$), 而早竹虫瘿的直径显著大于毛竹虫瘿 ($P<0.05$) (表 1)。故竹瘿广肩小蜂在早竹和叶平竹上形成虫瘿的长度长, 在业平竹上形成虫瘿的直径大, 而在毛竹上形成虫瘿的长度和直径均最小。虫瘿的体积计算结果表明, 竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子上形成虫瘿的体积存在显著差异 (秩和检验: $\chi^2=39.96$; $df=2$; $P=0.00<0.05$), 业平竹虫瘿最大, 早竹虫瘿次之, 而毛竹虫瘿最小 (表 1)。



图 1 竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子上形成的虫瘿

Fig. 1 *Aiolomorpha rhopaloides* induced galls on three bamboo species

A. 毛竹虫瘿; B. 早竹虫瘿; C. 业平竹虫瘿。

A. *Phyllostachys pubescens* gall; B. *Phyllostachys praecox* gall; C. *Semiarundinaria fastuosa* gall.

表 1 竹瘿广肩小蜂在 3 种寄主上形成虫瘿的大小
Table 1 Size of the galls of *Aiolomorphus rhopaloides* on three bamboo species

| | 样本数 (n) Number of samples | 长度 (mm) Length | 直径 (mm) Diameter | 体积 (mm ³) Volume |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| 业平竹虫瘿 <i>S. fastuosa</i> gall | 20 | 21.74 ± 2.90 a | 2.62 ± 0.26 a | 118.09 ± 28.32 a |
| 早竹虫瘿 <i>Ph. praecox</i> gall | 30 | 25.19 ± 4.21 a | 2.33 ± 0.18 b | 108.92 ± 28.34 a |
| 毛竹虫瘿 <i>Ph. edulis</i> gall | 30 | 17.47 ± 2.58 b | 2.21 ± 0.17 c | 67.38 ± 15.44 b |

同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

Data followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 造瘿昆虫的物种鉴定

3 种竹子虫瘿饲养出的造瘿昆虫进行形态学观察,参考《浙江蜂类志》的形态描述,初步鉴定为竹瘿广肩小蜂 *A. rhopaloides* (图 2:A, B)。PCR 扩增表明,使用引物对 28S-D2F/ 28S-D2R 扩增时,试验样品在约 600 bp 处有一条特异性的条带,该条带的大小与预期结果一致(图 2:C)。扩增产物送测序公司进行序列分析,得到 LSU rDNA D2 区域的 602 bp 的序列(GenBank 登录号:MK159743)。该基因片段与 NCBI 数据库的序列在线比对,下载与候选序列同源性最高的序列,并采用 DNAMAN 6.0 进行比对分析,发现 LSU rDNA D2 区域的 602 bp 与已报到的竹瘿广肩小蜂的序列同源性为 100% (GenBank 登录号:JN623667)。综合形态学和分子生物学的结果 3 种竹子上获得的造瘿昆虫为竹瘿广肩小蜂。

2.3 竹瘿广肩小蜂的羽化出孔时间和性比

竹瘿广肩小蜂从 3 种竹子虫瘿内羽化出孔的时间和历期不同。业平竹寄主上的竹瘿广肩小蜂 3 月 1 日开始羽化出孔,历时 13 d, 高峰期为 3 月 12 日;早竹寄主上的竹瘿广肩小蜂 3 月 2 日开始羽化出孔,历时 12 d, 高峰期为 3 月 6 日;毛竹寄主上的竹瘿广肩小蜂 3 月 20 日开始羽化出孔,历时 19 d, 高峰期为 3 月 30 日。竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子寄主上都是雄虫早于雌虫羽化出孔,但是在 3 种寄主上其雌性和雄性的比例存在差异,早竹上的雌雄比为 1.94 : 1, 业平竹上其雌雄比为 1.79 : 1, 毛竹上的雌雄比为 0.82 : 1 (表 2)。

2.4 竹瘿广肩小蜂成虫体重和寿命测定

本研究共测定 138 头羽化出孔当日的竹瘿



图 2 竹瘿广肩小蜂成虫及成虫 DNA 为模板的 PCR 扩增

Fig. 2 The adult stage of *Aiolomorphus rhopaloides* and PCR amplification of specific sequence from genomic DNA extracted from *Aiolomorphus rhopaloides*

A. 竹瘿广肩小蜂雌虫; B. 竹瘿广肩小蜂雄虫; C. PCR 法扩增竹瘿广肩小蜂的 28S rDNA D2 区的序列。

M 泳道:DL2000; 1-3 泳道:竹瘿广肩小蜂基因组 DNA; 4 泳道: ddH₂O。

A. Female of *A. rhopaloides*; B. Male of *A. rhopaloides*; C. PCR amplification of 28S rDNA D2 fragment from genomic DNA extracted from *A. rhopaloides*.

M: DL2000; Lane 1-3: Genomic DNA of *A. rhopaloides*; Lane 4: ddH₂O.

广肩小蜂雌雄成虫的体重。单因素方差分析 ($F=152.24$; $df=5, 132$, $P=0.00$) 表明, 相同寄主来源的竹瘿广肩小蜂雌虫体重显著高于雄虫体重 ($P<0.05$); 不同寄主来源的竹瘿广肩小蜂无论是雌性还是雄性, 其体重均是业平竹来源显著高于早竹来源 ($P<0.05$), 而早竹来源显著高于毛竹来源 ($P<0.05$) (表 2)。

研究发现, 不同寄主来源的竹瘿广肩小蜂雌成虫寿命之间存在显著差异 ($F=41.57$; $df=2, 37$; $P=0.00<0.05$)。业平竹和早竹寄主来源竹瘿广肩小蜂雌成虫寿命显著长于毛竹来源 ($P<0.05$), 而业平竹和早竹寄主来源竹瘿广肩小蜂雌成虫寿命差异不显著 ($P>0.05$) (表 2)。

表 2 竹瘿广肩小蜂成虫的体重、寿命和性比

Table 2 Body weight, longevity and sex ratio of adult stage of *Aiolomorpha rhopaloides*

| 寄主植物 Host plants | 性别 Sex | 样本数 (n) Number of samples | 成虫体重 (mg) Adult weight | 样本数 (n) Number of samples | 雌成虫寿命 (d) Adult female longevity | 雌虫与雄虫的比例 Sex ratio |
|---------------------------|-----------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| 业平竹 <i>S. fastuosa</i> | 雌虫 Female | 22 | 7.90 ± 0.83 a | 14 | 16.00 ± 2.00 a | 1.79 : 1.00 |
| | 雄虫 Male | 11 | 4.62 ± 0.39 b | | | |
| 早竹 <i>Ph. praecox</i> | 雌虫 Female | 30 | 6.06 ± 0.76 c | 17 | 16.24 ± 2.61 a | 1.94 : 1.00 |
| | 雄虫 Male | 20 | 3.47 ± 0.73 d | | | |
| 毛竹 <i>Ph. edulis</i> | 雌虫 Female | 27 | 4.25 ± 0.89 b | 9 | 8.67 ± 1.23 b | 0.82 : 1.00 |
| | 雄虫 Male | 28 | 2.72 ± 0.62 e | | | |

2.5 竹瘿广肩小蜂卵巢管、初始卵量和卵大小的测定与统计

解剖羽化出孔当日的竹瘿广肩小蜂雌成虫, 使用 2% 酸性品红染液染色, 并在显微镜下观察其形态结构。结果发现, 脂肪体不能够染上颜色, 肠道染成灰黑色, 卵柄和卵体均染成红色, 但卵体的颜色略浅于卵柄 (图 3 : A, 图 3 : B)。竹瘿广肩小蜂的卵由柄卵和卵体构成, 卵柄呈细长的管状, 卵体呈长卵圆形 (图 3 : B)。解剖观察还发现, 竹瘿广肩小蜂的全部卵在羽化出孔时都已经成熟, 故竹瘿广肩小蜂属于早熟卵 (Pro-ovigeny) 型小蜂。

竹瘿广肩小蜂卵巢管 (Ovarioles) 和卵的数量统计表明, 3 种竹子寄主来源的竹瘿广肩小蜂卵巢都由 6 条卵巢管组成, 左右侧各 3 条, 每条卵巢管由 10 多个成熟卵组成 (图 3 : A)。不同寄主来源的竹瘿广肩小蜂其初始卵量存在显著差异 ($F=26.61$; $df=2, 41$; $P=0.00<0.05$), 业平竹上竹瘿广肩小蜂卵多达 (119.4 ± 13.69) 粒/头, 显著的高于早竹和毛竹上竹瘿广肩小蜂 ($P<0.05$); 而早竹和毛竹上竹瘿广肩小蜂卵的数量

分别为 (92.56 ± 10.80) 粒/头和 (88.93 ± 10.03) 粒/头, 两者之间的差异不显著 ($P>0.05$) (表 3)。

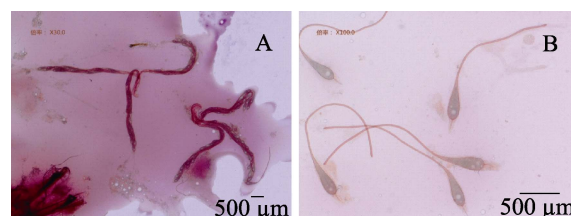


图 3 竹瘿广肩小蜂卵巢管和卵
Fig. 3 The ovarioles and eggs of *Aiolomorpha rhopaloides*

A. 竹瘿广肩小蜂的卵巢管; B. 竹瘿广肩小蜂的卵。

A. The ovarioles of *A. rhopaloides*;

B. The eggs of *A. rhopaloides*.

测量竹瘿广肩小蜂卵的大小, 并进行差异显著性分析。结果表明, 竹瘿广肩小蜂卵柄的长度在 3 种寄主上存在显著差异 ($F=46.48$; $df=2, 145$; $P=0.00<0.05$), 早竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵柄的长度显著大于业平竹来源 ($P<0.05$), 而业平竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵柄的长度显著大于毛竹来源 ($P<0.05$) (表 3)。卵体的长度分析表明 ($F=27.99$; $df=2, 145$; $P=0.00<0.05$),

表 3 竹瘿广肩小蜂雌虫初始卵量和卵的大小
Table 3 The initial egg load and egg size of adult female of *Aiolomorphus rhopaloides*

| 寄主植物 Host plants | 卵巢管数 量(条/头) Number of ovarioles | 样本数(n) Number of samples | 初始卵量 (粒/头) The initial egg load | 样本数 (n) Number of samples | 卵柄长度 (μm) Egg stalk length | 卵体长度 (μm) Egg body length | 卵体最大 宽度(μm) The maximum width of egg body |
|---------------------------|--|--------------------------------|--|------------------------------------|---|--|---|
| 业平竹 <i>S. fastuosa</i> | 6 | 11 | 119.4 ± 13.69 a | 44 | 1 766.11 ± 103.04 a | 545.36 ± 30.74 a | 137.27 ± 12.20 a |
| 早竹 <i>Ph. praecox</i> | 6 | 18 | 92.56 ± 10.80 b | 31 | 1 865.74 ± 129.45 b | 498.29 ± 26.90 b | 133.16 ± 11.75 ab |
| 毛竹 <i>Ph. edulis</i> | 6 | 15 | 88.93 ± 10.03 b | 73 | 1 624.82 ± 131.43 c | 501.85 ± 36.81 b | 128.64 ± 10.04 b |

业平竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵体的长度显著大于毛竹和早竹来源 ($P < 0.05$), 而早竹和毛竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵体的长度差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。卵体的宽度分析表明 ($F = 8.49$; $df = 2, 145$; $P = 0.00 < 0.05$), 业平竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵体的长度显著大于毛竹来源 ($P < 0.05$), 而与早竹寄主来源竹瘿广肩小蜂卵体的长度差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。综上所述, 3 种寄主显著影响竹瘿广肩小蜂卵的大小, 早竹寄主来源竹瘿广肩小蜂的卵柄最长, 业平竹寄主来源竹瘿广肩小蜂的卵体最大。

3 讨论

竹子造瘿昆虫在我国分布范围广、发生量大、危害时间长, 严重影响竹子的生长和竹材的材性, 是我国竹子上的重要害虫。目前我国对于竹子造瘿昆虫的研究较薄弱, 主要集中于害虫的生物学特性、空间分布型、天敌资源等方面 (王浩杰等, 1996; 徐志宏等, 2002; 耿显胜等, 2016; 何孙强等, 2016)。

本研究采用室内饲养法对业平竹、早竹和毛竹上造瘿昆虫的生物学特性进行研究, 发现竹瘿广肩小蜂在 3 种寄主上都是 3 月份开始羽化出孔, 其中业平竹和早竹寄主上竹瘿广肩小蜂羽化出孔较早, 且羽化出孔的开始时间基本一致, 而在毛竹上羽化出孔的开始时间较晚。先前报道竹瘿广肩小蜂危害毛竹、雷竹和五月季竹等刚竹属的竹种 (Shibata, 2002; 徐志宏等, 2002), 而

本研究发现竹瘿广肩小蜂也危害业平竹属的业平竹。竹瘿广肩小蜂在 3 种竹子寄主上都能够形成两端略细的圆柱体型的单室虫瘿, 虫瘿的体积计算表明, 业平竹虫瘿最大, 早竹虫瘿次之, 毛竹虫瘿最小。

昆虫成虫的个体大小/重量、发育历期、寿命、潜在生殖力、卵的大小等生物学特性, 受到寄主植物质量的影响 (Awmack and Leather, 2002)。一般来说, 昆虫的幼虫寄生于营养价值更高的寄主, 其成虫的个体大小/重量会更大、潜在生殖力更高、卵的质量更好, 从而产生更多的后代和赋予后代更大的生存优势 (Leather, 1995; Awmack and Leather, 2002)。本研究发现, 业平竹寄主来源的竹瘿广肩小蜂的雌成虫具有最大的体重、最多的初始卵量和最大的卵体大小, 表明业平竹的寄主质量更高, 更适宜竹瘿广肩小蜂幼虫的寄生。早竹寄主来源的竹瘿广肩小蜂雌成虫的体重显著高于毛竹来源, 但初始卵量略多于毛竹来源, 卵的大小也与毛竹来源相当, 表明早竹和毛竹对于竹瘿广肩小蜂幼虫的寄主质量相差不大。

解剖观察竹瘿广肩小蜂的卵巢管和卵, 发现竹瘿广肩小蜂卵的发育方式属于早熟卵型, 即羽化出孔的雌成虫不需要补充营养其全部的卵就已经发育成熟, 这种卵的发育方式有别于其它膜翅目的天敌昆虫 (Jervis *et al.*, 2001), 这一特征有利于设计并种植蜜源植物, 提高天敌昆虫的寄生效能, 从而实现造瘿害虫生态调控的目标。

参考文献 (References)

- Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1): 817–844.
- Campbell B, Heraty J, Rasplus JY, Chan K, Steffan-Campbell J, Babcock C, 2000. Molecular systematics of the Chalcidoidea using 28S-D2 rDNA//Austin AD, Downton M (eds.). *The Hymenoptera: Evolution, Biodiversity and Biological Control*. Collingwood: CSIRO publishing. 59–73.
- Chen Y, Xiao H, Fu JZ, Huang DW, 2004. A molecular phylogeny of eurytomid wasps inferred from DNA sequence data of 28S, 18S, 16S, and COI genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31(1): 300–307.
- Geng XS, Shu JP, Meng HL, 2016. Spatial distributions of *Phyllostachys praecox* gall under two management patterns. *Forest Research*, 29(6): 951–955. [耿显胜, 舒金平, 孟海林, 2016. 2 种经营方式下早竹林虫瘿的空间分布研究. *林业科学研究*, 29(6): 951–955.]
- He SQ, Jiang CY, Guo R, Wang YP, 2016. Parasitoids of *Aiolomorphous rhopaloids* Walker. *Forest Pest and Disease*, 35(2): 1–4. [何孙强, 姜朝阳, 郭瑞, 王义平, 2016. 竹林害虫竹瘿广肩小蜂的寄生蜂. *中国森林病虫*, 35(2): 1–4.]
- Jervis MA, Heimpel GE, Ferns PN, Harvey JA, Kidd NAC, 2001. Life-history strategies in parasitoid wasps: a comparative analysis of “ovigeny”. *Journal of Animal Ecology*, 70(3): 442–458.
- Leather SR, 1995. Factors affecting fecundity, fertility, oviposition, and larviposition in insects//Leather SR (ed.). *Insect Reproduction*. Boca Raton: CRC Press. 143–174.
- Shibata E, 2002. Potential fecundity of the bamboo gall maker, *Aiolomorphous rhopaloids* (Hymenoptera: Eurytomidae), and its inquiline, *Diomorus aiolomorphi* (Hymenoptera: Torymidae), in relation to gall size and body size. *Journal of Forest Research*, 7(2): 117–120.
- Takahashi F, Mizuta K, 1971. Life cycles of a eurytomid wasp, *Aiolomorphous rhopaloids*, and three species of wasp parasitic on it. *Japanese Journal of Applied Zoology*, 15(1): 36–43.
- Wang HJ, Xu TS, Lin CC, Liu RP, 1996. Studies on the biological characteristics of two chalcid-flies infesting bamboo. *Forest Research*, 9(1): 52–57. [王浩杰, 徐天森, 林长春, 刘若平, 1996. 两种竹瘿小蜂的生物学特性研究. *林业科学研究*, 9(1): 52–57.]
- Wang WX, Mo JC, Wang MX, Qin SB, Tang KH, 1994. Studies on the biological and ecological features of *Aiolomorphous rhopaloids* Walker and integrated pest management. *Journal of Central-South Forestry College*, 14(1): 29–34. [王问学, 莫建初, 王明旭, 秦松柏, 汤科海, 1994. 竹广肩小蜂的生物、生态学特性及综合治理研究. *中南林学院学报*, 14(1): 29–34.]
- Xu TS, Wang HJ, 2004. *Main Pests of Bamboo in China*. Beijing: China Forestry Publishing House. 135–136. [徐天森, 王浩杰, 2004. *中国竹子主要害虫*. 北京: 中国林业出版社. 135–136.]
- Xu ZH, Hu GL, Jiang HZ, Ye YZ, 2002. Ten species of *Chalcidoids* reared from bamboo gall with notes on one new record species. *Forest Research*, 15(4): 444–449. [徐志宏, 胡国良, 蒋惠中, 叶玉珠, 2002. 育自竹子虫瘿中的 10 种小蜂及一种中国新纪录种记述. *林业科学研究*, 15(4): 444–449.]