

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.04.018

# 朱红毛斑蛾繁殖行为的研究

吴海盼, 刘俊延, 王小云, 陆 温, 郑霞林\*

(广西农业环境与农产品安全重点实验室, 广西大学农学院, 广西南宁 530004)

**摘要:** [目的] 朱红毛斑蛾是榕属植物上一种重要的食叶害虫, 研究其繁殖行为, 可为该虫的种群管理提供基础资料。[方法] 通过观察, 分析朱红毛斑蛾的羽化、求偶、交配和产卵的繁殖行为及节律。[结果] 朱红毛斑蛾仅在光期 06:00—16:00 时羽化, 11:00—13:00 达到羽化高峰; 求偶行为包括爬行、飞行、侦测、触角交流、振翅、暴露生殖器、尝试交配等系列步骤, 09:00—18:00 均有求偶行为的发生, 求偶高峰期为 11:00—16:00。交配姿势呈“一”字型或“V”字型, 雌雄成虫一生均只交配 1 次, 交配高峰为 14:00—16:00, 交配时长为  $16.16 \pm 0.26$  h。雌虫将卵产于寄主植物的叶柄或叶尖, 产卵高峰期为 10:00—14:00, 单雌平均产卵量为  $107.3 \pm 3.0$  粒, 平均孵化率为  $88.40\% \pm 1.60\%$ 。[结论] 朱红毛斑蛾为日行性的单配制蛾类。

**关键词:** 朱红毛斑蛾; 毛斑蛾科; 求偶; 交配; 产卵; 繁殖节律

**中图分类号:** S763.42

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2021)04-0149-07

斑蛾总科 (Zygaenoidea) 包括斑蛾科 (Zygaenida)、毛斑蛾科 (Phaudidae) 和绒蛾科 (Megalopygidae) 等 13 科 2600 余种, 其中斑蛾科和毛斑蛾科中的许多种类是农业、园艺和林业上的重要害虫<sup>[1-3]</sup>。目前, 针对斑蛾总科害虫中有关繁殖方面的研究主要集中性冲突/选择<sup>[4]</sup>、延迟交配<sup>[5]</sup>、性信息素<sup>[6-8]</sup>和滞育<sup>[9]</sup>等方面。尚未见有关毛斑蛾科昆虫繁殖行为方面的研究报道。

朱红毛斑蛾 (*Phauda flammans*) (鳞翅目 Lepidoptera: 毛斑蛾科 Phaudidae) 是榕树上的一种常暴发的食叶害虫, 其危害不仅影响榕树的生长发育, 还影响城市景观和生态效应<sup>[10]</sup>。该虫广泛分布于东南亚和南亚诸国<sup>[11-17]</sup>, 且已明确了其生物生态学特性, 包括形态特征<sup>[10, 18-19]</sup>、寄主选择<sup>[20]</sup>、年生活史<sup>[10]</sup>、发育起点温度和有效积温<sup>[21]</sup>、抗寒力<sup>[22]</sup>、天敌种类<sup>[23]</sup>、越冬虫态的调查方法<sup>[24]</sup>和防治技术<sup>[8, 25-27]</sup>等。目前, 关于朱红毛斑蛾的繁殖行为尚无相关研究报道。鉴于此, 本研究研究了朱红毛斑蛾的羽化、求偶、交配和产卵行为及节律, 以

期明确朱红毛斑蛾的繁殖行为, 为该虫的种群管理提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

在广西大学校园内 (108°29' E, 22°85' N) 的小叶榕上采集 6 龄朱红毛斑蛾幼虫, 带回室内置于圆形塑料盒 (底部直径 20.5 cm, 顶部直径 25.0 cm, 高 15.0 cm; 10 头·盒<sup>-1</sup>) 内, 在温度  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $70\% \pm 10\%$ 、光周期为 16 L:8 D 的环境条件下饲养, 每日更换新鲜小叶榕叶片直至化蛹, 收集茧 (蛹) 待用。

### 1.2 研究方法

1.2.1 朱红毛斑蛾羽化行为的研究 将茧 (蛹) 置于圆形塑料盒内 (底部直径 18.5 cm, 顶部直径 23.0 cm; 高 10 cm; 100 头·盒<sup>-1</sup>), 在上述饲养条件下, 人工连续观察和记录塑料盒中朱红毛斑蛾蛹的羽化情况, 每隔 1 小时统计羽化的雌虫 ( $n = 493$ ) 和雄虫 ( $n = 536$ ) 数量并将其取出, 直至无

收稿日期: 2020-11-09 修回日期: 2020-12-20

基金项目: 国家自然科学基金 (31660206)

\* 通讯作者: 郑霞林, 博士, 副教授. E-mail: zheng-xia-lin@163.com

成虫羽化为止,分析成虫的羽化行为、日节律及昼夜节律。

**1.2.2 朱红毛斑蛾求偶行为的研究** 将雌雄蛹分开保存在不同的塑料盒内,置于上述饲养条件下。待成虫羽化后,随机选取1日龄健康雌雄虫放入装有盆栽小叶榕的网笼(长×宽×高=100 cm×100 cm×180 cm)中(100对·笼<sup>-1</sup>),人工观察和统计每小时雄虫求偶(雄虫求偶时,腹部翘起几乎与地面垂直,并快速振翅)的数量( $n=1299$ ),并将统计过的雄虫移出笼外,避免重复计数。

**1.2.3 朱红毛斑蛾交配行为的研究** 随机选取300对1日龄健康雌雄虫放入网笼内,在上述饲养条件下人工观察,发现交配时将交配的雌雄虫轻轻取出并置于塑料盒中(1对·盒<sup>-1</sup>),统计每小时内的交配数,并分析其交配行为和昼夜节律。对置于塑料盒内交配中的朱红毛斑蛾雌雄虫采用数码摄像机(DS-2CD3T45D-13,海康威视数字技术股份有限公司,杭州,浙江)连续拍摄,直至其结束交配,统计其交配时长。

**1.2.4 朱红毛斑蛾产卵行为的研究** 随机选取交配结束后的朱红毛斑蛾雌虫置于塑料盒中(1头·盒<sup>-1</sup>),并给以新鲜小叶榕枝条,在上述饲养条件下,使用数码摄像机连续拍摄直至雌虫死亡,记录雌虫每天每小时的产卵情况,分析其产卵行为和昼夜节律,并统计每头雌虫( $n=202$ )的总产卵量。每天收集榕树叶上的卵块置于垫有湿润滤纸的培养皿内(直径=12 cm),统计其在上述饲养条件下的孵化率。

### 1.3 数据分析

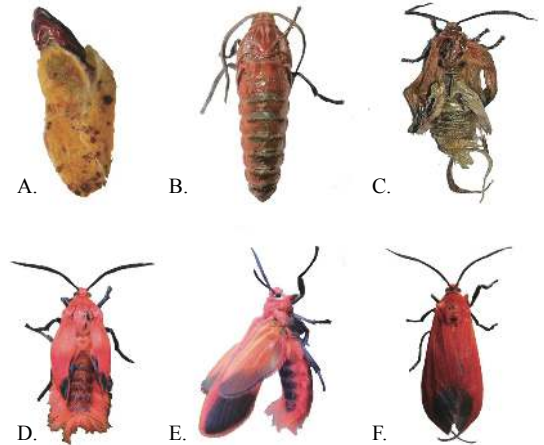
使用SPSS16.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)软件对24 h内不同时间段雌虫的产卵率进行数据统计分析,采用ANOVA单因素方差分析,并用Tukey's HSD进行多重比较( $P < 0.05$ )。统计分析前,百分率数据进行平方根转换。

## 2 结果与分析

### 2.1 朱红毛斑蛾的羽化行为

**2.1.1 朱红毛斑蛾的羽化行为特征** 朱红毛斑蛾羽化前,蛹体渐变为深红色。近羽化时蛹体轻微扭动,随后频率逐渐加快,约3~5 min后蛹的头部先钻出茧室一侧留下的稀薄羽化孔,然后虫体继续抖动,头胸部先钻出蛹壳,通过胸足的不断爬行利

用茧室羽化孔的摩擦逐步褪去腹部蛹壳,蛹壳留于蛹室内。成虫爬出茧室后,在蛹室附近静伏,并用前足梳理触角,数分钟后成虫会通过其排泄孔射出棕黄色排泄物。待完全展翅后,双翅竖立数分钟,随后飞行离开(图1)。



A. 蛹的头部钻出茧室羽化孔; B. 头部和胸部钻出蛹壳; C. 腹部钻出蛹壳; D. 翅开始逐步展开; E. 翅完全展开并竖立; F. 羽化完成

A. a pharate adult escapes from its cocoon; B. and C. a pharate adult wriggles out of the pupalcuticle; D. and E. an adult expanded its wings; F. an newly emerged adult

图1 朱红毛斑蛾的羽化行为

Fig. 1 Emergence of *Phauda flammans* adult

**2.1.2 朱红毛斑蛾的羽化节律** 朱红毛斑蛾雌雄成虫仅在光期06:00—16:00羽化,在11:00—13:00达到羽化高峰期,且雌虫羽化时间比雄虫提早约1 h,雌雄成虫的昼夜羽化节律均呈“单峰”型。采集的同一批样本中,朱红毛斑蛾化蛹持续15 d,蛹期11~17 d,雌雄成虫的羽化持续19 d,雌虫早于雄虫约2 d羽化,提早1 d结束。雌雄虫的日羽化高峰期均出现在开始羽化后的8~11 d,在羽化高峰期的羽化率分别占雌雄成虫总羽化率的59.35%和57.01%,雌雄虫的日羽化节律均呈“单峰”型(图2)。

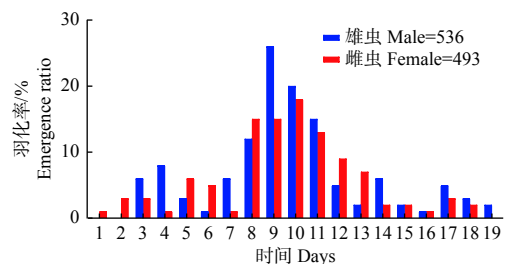


图2 朱红毛斑蛾成虫的羽化节律

Fig. 2 Emergence of *Phauda flammans* adults

## 2.2 朱红毛斑蛾的求偶行为

2.2.1 朱红毛斑蛾的求偶行为特征 朱红毛斑蛾雌雄虫仅在光期求偶。雌虫羽化后, 大多数个体顺着树干爬至寄主植物枝干或叶片上, 也有少量雌虫通过飞行抵达寄主植物。雌虫在寄主植物上寻找到合适的位置后, 开始静止等待雄虫, 在此过程中, 常见雌虫无规律快速震颤腹部, 偶见腹部末端翘起现象。与此同时, 雄虫飞行搜索雌虫。当飞抵雌虫附近时, 雄虫继续爬行, 并伴随触角快速摆动侦测雌虫位置。待雄虫准确定位雌虫后立即表现出明显的求偶行为, 包括雄虫触角不停敲击雌虫触角和身体, 雄虫在雌虫周围快速振翅, 腹部高高翘起几乎垂直于地面, 然后暴露阴茎试图与雌虫交配。雌虫若接受雄虫的求偶, 则立即接受交配; 雌虫若不接受该雄虫的求偶, 则快速爬行以挣脱雄虫, 而雄虫

则穷追不舍, 并重复上述求偶行为, 试图再次与雌虫进行交配, 若雌虫接受该雄虫的再次求偶则立即交配, 否则雌虫飞走, 雄虫需重新寻找和定位新的雌虫 (图3)。

2.2.2 朱红毛斑蛾求偶节律 朱红毛斑蛾从 09:00—18:00 均有个体求偶, 求偶高峰期为 11:00—16:00, 占求偶个体总数的 69.44% (图4)。

## 2.3 朱红毛斑蛾的交配行为

2.3.1 朱红毛斑蛾的交配节律及行为求偶率 朱红毛斑蛾的交配行为在 10:00—18:00 均可发生, 14:00—16:00 为交配高峰期, 暗期未见交配行为。朱红毛斑蛾交配姿势多为“一”或“V”字型 (图5), 交配地点多在寄主植物叶背和枝干, 交配时长为  $16.16 \pm 0.26$  h ( $n = 190$ ), 交配率 63.33%, 雌雄成虫均一生只交配 1 次, 为单配制蛾类。

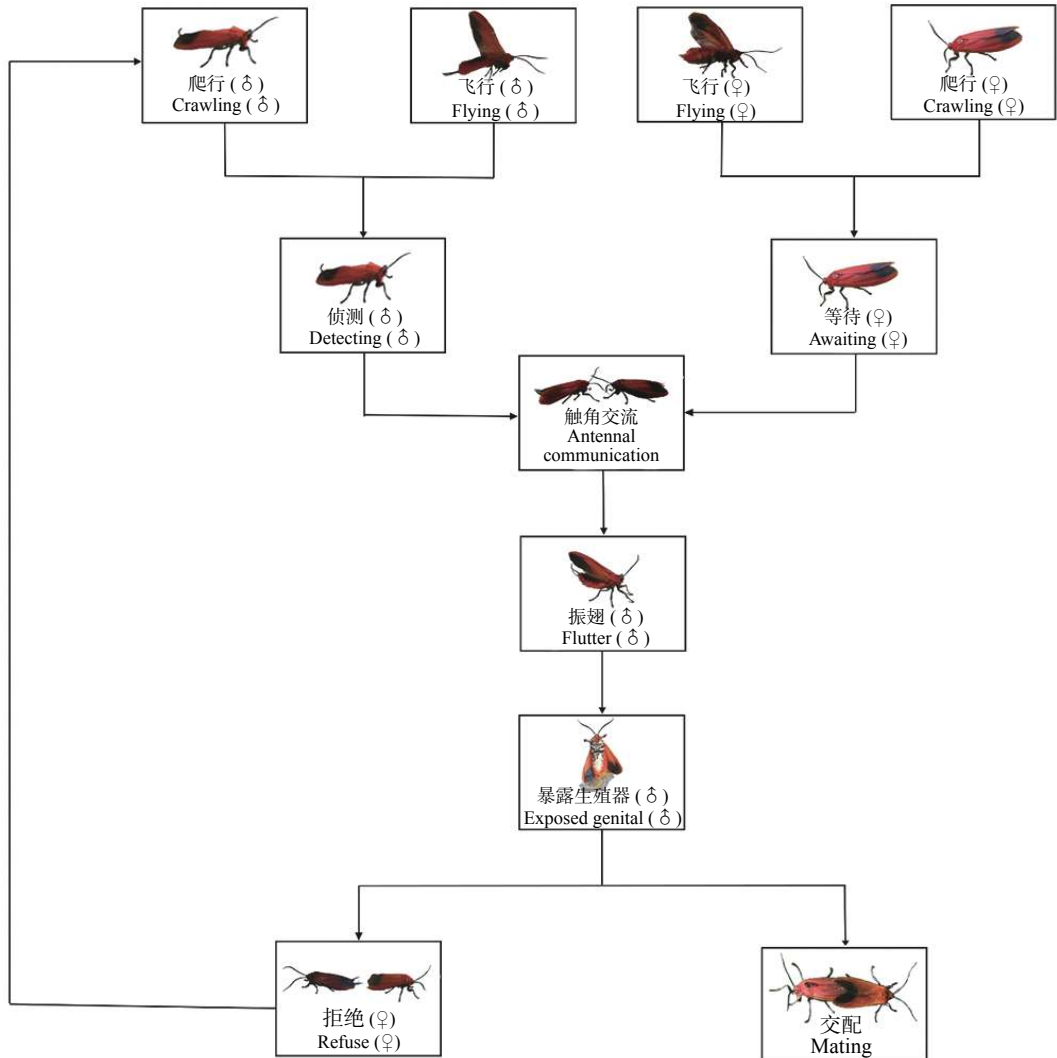


图3 朱红毛斑蛾的觅偶和求偶行为

Fig. 3 Mate searching, courtship and calling behaviors of *Phauda flammans*

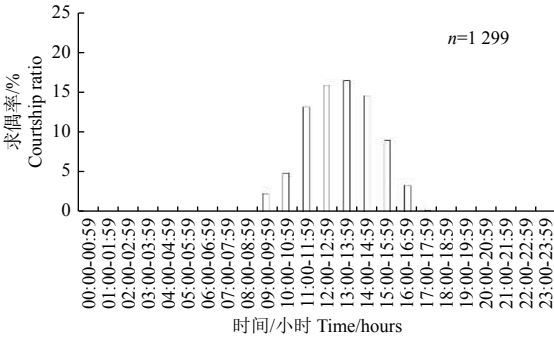


图4 朱红毛斑蛾求偶的昼夜节律

Fig. 4 Circadian rhythm of courtship of *Phauda flammans*

2.4.2 朱红毛斑蛾的产卵节律 在5:00—23:00均可观察到朱红毛斑蛾雌虫产卵，但主要集中在10:00—14:00（图7），且其产卵率显著高于其他时间段（ $F = 32.73$ ,  $df = 24, 725$ ,  $P < 0.001$ ）。

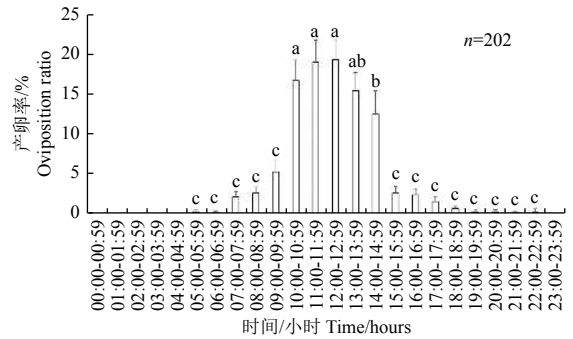


图7 朱红毛斑蛾产卵的昼夜节律

Fig. 7 Circadian rhythm of oviposition of *Phauda flammans*

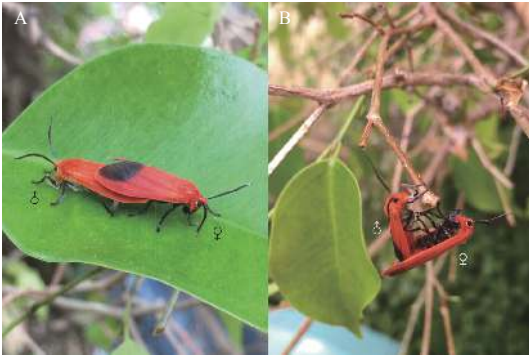


图5 朱红毛斑蛾交配行为

Fig. 5 Mating postures of *Phauda flammans*

## 2.4 朱红毛斑蛾的产卵行为

2.4.1 朱红毛斑蛾的产卵行为特征 朱红毛斑蛾雌虫在交配结束约1 h或次日光期即可产卵。产卵前，雌虫常在寄主植物上爬行，并用触角不停地触碰寄主植物以搜寻合适的产卵地。观察发现，卵多产于寄主植物的叶柄或叶尖部位。产卵时，腹部末端对准产卵地，不断抖动腹部，卵从腹部产卵孔排出，卵粒粘结呈线状或鳞片状，无重叠（图6）。每头雌虫一生产1~2个卵块，单雌平均产卵量为 $107.3 \pm 3.0$ 粒，平均孵化率为 $88.4\% \pm 1.6\%$ 。



图6 朱红毛斑蛾的产卵行为

Fig. 6 Oviposition behaviors of *Phauda flammans*

## 3 讨论

一般情况下，昆虫经过长期的进化，其繁殖行为及节律相对稳定，主要是受其生物钟的调节<sup>[28]</sup>。本研究结果表明，朱红毛斑蛾的羽化、求偶和交配行为均发生在光期，为典型的日行性蛾类，与已报道的斑蛾科其他昆虫的繁殖行为和节律相似，如云南锦斑蛾（*Achelurayunnanensis*）<sup>[29]</sup>、朱颈褐锦斑蛾（*Soritia leptalina*）<sup>[30]</sup>、大叶黄杨长毛斑蛾（*Pryeriasinica*）<sup>[31]</sup>，说明毛斑蛾科昆虫经过长期进化也表现出与斑蛾科类似的在光期繁殖的生物学特性。前人研究结果表明，昆虫繁殖行为及节律的变化可以减少物种对同一资源的直接竞争，并通过种群行为的同步，确保相似种间的遗传隔离<sup>[32]</sup>。事实上，蛾类的繁殖行为及节律除了由内在的生理因素决定之外，还受环境温度、光周期、湿度等生态因子的影响。然而，控制朱红毛斑蛾繁殖行为及节律的内外因子目前均尚不明确，需进一步研究。

朱红毛斑蛾羽化后，雌虫多停留在隐蔽处等待雄虫觅偶，觅偶成功后均是雄虫主动发起求偶，这与多数蛾类昆虫的求偶行为相似，如柚木野螟（*Eutectona machaeralis*）、栎黄枯叶蛾（*Trabala vishnou gigantina*）、草原毛虫（*Gynaephora alpherakii*）等<sup>[33-35]</sup>。前期研究证实，朱红毛斑蛾雌虫释放的性信息素对雄虫具有显著的引诱作用<sup>[8]</sup>，推测朱红毛斑蛾雄虫在觅偶过程中依靠雌虫释放性信息素进行异性定位，但雌虫对



- 观察[J]. 植物保护学报, 2018, 45 ( 6 ): 1314-1320.
- [19] Liu J Y, Zhang Y J, Huang Z Y, *et al.* Ultrastructural observations of antennal sensilla in *Phaуда flammans* Walker (Lepidoptera: Zygaenidae)[J]. Journal of Entomological Science, 2018, 53(3): 281-294.
- [20] 管维康, 王小云, 陆 温, 等. 朱红毛斑蛾对榕树挥发物的触角电位及行为反应[J]. 森林与环境学报, 2020, 40 ( 4 ): 442-448.
- [21] 刘俊延, 何秋隆, 魏 航, 等. 室内自然变温下朱红毛斑蛾发育历期、发育起点温度和有效积温[J]. 植物保护, 2015, 41 ( 1 ): 137-140.
- [22] Zheng X L, Liu J Y, Huang Z Y, *et al.* Cold hardiness of *Phaуда flammans* (Lepidoptera: Zygaenidae) larvae[J]. Entomologica Fennica, 2017, 28(1): 9-15.
- [23] Zheng X L, Li J, Su L, *et al.* Ecological and morphological characteristics of parasitoids in *Phaуда flammans* (Lepidoptera: Zygaenidae)[J]. Parasite, 2015, 22: 36.
- [24] 刘俊延, 何秋隆, 苏 莎, 等. 榕树食叶害虫朱红毛斑蛾蛹的调查方法[J]. 中国植保导刊, 2014, 34 ( 6 ): 51-53.
- [25] Huang A L, Meng L Y, Zhang W, *et al.* Effects of five pesticides on toxicity, detoxifying and protective enzymes in *Phaуда flammans* Walker (Lepidoptera: Zygaenidae)[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2019, 51(4): 1457-1463.
- [26] 陈学敏, 王小云, 陆 温, 等. 4种虫生真菌对朱红毛斑蛾幼虫的室内毒力测定[J]. 广西植保, 2020, 33 ( 2 ): 1-5.
- [27] 陈学敏, 王小云, 陆 温, 等. 球孢白僵菌对朱红毛斑蛾幼虫蛋白质含量、保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2020, 47 ( 6 ): 1379-1380.
- [28] Giebultowicz J M. Molecular mechanism and cellular distribution of insect circadian clocks[J]. Annual Review of Entomology, 2000, 45: 769-793.
- [29] 田茂寻, 荣昌鹤, 白 冰, 等. 云南锦斑蛾 *Achelura yunnanensis* 生物学特性及发生规律的初步研究[J]. 植物保护, 2018, 44 ( 6 ): 191-194+213.
- [30] 唐晓琴, 臧建成, 卢 杰. 川滇高山栎朱颈褐锦斑蛾(鳞翅目: 斑蛾科)生物学特性[J]. 林业科学, 2017, 53 ( 6 ): 175-180.
- [31] 沈国良, 陈 红. 大叶黄杨长毛斑蛾生物学特性初步研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13 ( 13 ): 155-156.
- [32] Miyatake, T, Shimizu, T. Genetic correlations between life-history and behavioral traits can cause reproductive isolation[J]. Evolution, 1999, 53(1): 201-208.
- [33] 鲍根生, 王宏生. 草原毛虫雌雌性信息素粗提物对雄蛾引诱效果研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2015, 45 ( 3 ): 10-12.
- [34] 王世飞, 荆小院. 栎黄枯叶蛾成虫交配行为特征及性趋向[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2016, 36 ( 8 ): 557-561+566.
- [35] 张媛媛, 朱诚棋, 王胜坤, 等. 柚木野螟的交配行为及雄蛾对性腺提取物的反应节律[C]//中国植物保护学会. 植保科技创新与农业精准扶贫——中国植物保护学会2016年学术年会论文集. 中国植物保护学会: 中国植物保护学会, 2016.
- [36] 刘晓明, 李 明, 魏辅文. 雌性动物多次交配行为的机制及进化[J]. 兽类学报, 2002, 22 ( 2 ): 136-143.
- [37] 周康念. 马尾松毛虫繁殖生物学的研究[D]. 南昌, 江西农业大学, 2013.
- [38] Wang X P, Fang Y L, Zhang Z N. Effect of male and female multiple mating on the fecundity, fertility, and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella*(L.) [J]. Journal of Applied Entomology, 2005, 129(1): 39-42.
- [39] McNamara K B, Elgar M A, Jones T M. A longevity cost of re-mating but no benefits of polyandry in the almond moth *Cadra cautella* [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2008, 62(9): 1433-1440.
- [40] 张清泉, 张雪丽, 陆 温. 成虫日龄与交配状态对棉褐环野螟繁殖力的影响[J]. 植物保护, 2012, 38 ( 2 ): 71-74.
- [41] Gripenberg S, Mayhew P J, Parnell M, *et al.* A meta-analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects[J]. Ecology Letters, 2010, 13(3): 383-393.
- [42] 唐宇翀, 周成理, 陈晓鸣. 植食性昆虫产卵行为生态学研究进展[J]. 林业科学研究, 2010, 23 ( 5 ): 770-777.
- [43] Hilker M, Meiners T. Chemoecology of Insect Eggs and Egg Deposition[M]. Oxford: Blackwell, 2002, 390.
- [44] Hilker M, Fatouros N E. Plant responses to insect egg deposition[J]. Annual Review of Entomology, 2015, 60: 493-515.

## Study on Reproductive Behavior of *Phauda flammans* (Walker) (Lepidoptera: Phaudidae)

WU Hai-pan, LIU Jun-yan, WANG Xiao-yun, LU Wen, ZHENG Xia-lin

(Guangxi Key Laboratory of Agri-Environmental and Agri-Products Safety, College of Agriculture,  
Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

**Abstract:** [Objective] To study the reproductive behavior of *Phauda flammans* (Walker) (Lepidoptera: Phaudidae) in laboratory aiming at providing basic information for population management of this species. [Method] The reproductive behavior and rhythms, including emergence, courtship, mating and oviposition, were observed. [Result] Both the male and female adult emergence occurred from 06:00 to 16:00, with the peak at 11:00–13:00. Courtship took place from 09:00 to 18:00, peaking at 11:00 to 16:00, when the males initiated searching females via crawling, flying, detecting, vibrating the antennae, or flapping wings. After locating, the males approached the female, extended claspers and attempted dorsolateral copulation. Following the successful grasp, the males aligned into a tail-to-tail or V-shape position. Most copulations initiated at 14:00–16:00, lasting  $16.16 \pm 0.26$  hours. Both males and females only mated once in their lifetime. Oviposition often occurred from 10:00 to 14:00, during which the females laid eggs on the petioles or leaf tips of host plants, with an average number of  $107.3 \pm 3.0$ . The average hatching rate was  $88.40\% \pm 1.60\%$ . [Conclusion] *P. flammans* is a diurnal and monogamous moth species.

**Keywords:** *Phauda flammans*; Phaudidae; courtship; mating; oviposition; reproductive rhythms

(责任编辑: 崔 贝)