

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.06.003

中华润楠食叶新害虫：异斑酷大蚕蛾 羽化节律与生殖行为观察

张锦坤¹, 胡可炎¹, 张国祥¹, 范凌华¹, 冯莹²,
王 偲¹, 温秀军^{1*}, 马 涛^{1*}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642;

2. 广东省森林资源保育中心, 广东 广州 510173)

摘要: [目的] 掌握异斑酷大蚕蛾的羽化、求偶、交尾、产卵规律, 为其性信息素研究提供依据, 进而为该虫的无公害绿色监测、预报及防治提供技术参考。[方法] 林间采集异斑酷大蚕蛾幼虫带回实验室进行饲养, 进而对成虫的羽化和生殖行为进行观察、统计及数据分析。[结果] 异斑酷大蚕蛾不同性别的羽化存在显著的昼夜差异, 成虫羽化全天可见, 78.49% 的雄虫在暗期羽化, 91.01% 的雌虫在光期羽化, 雄虫早于雌虫羽化。雌成虫求偶高峰期在 5:30–11:30, 交尾高峰期在 7:00–10:30, 1 日龄雌虫即可进行求偶且生殖行为最为活跃, 雌虫的求偶(交尾)高峰期、求偶(交尾)率和求偶(交尾)时长均与日龄成负相关关系。相同生殖状态下雌虫平均寿命大于雄虫, 但是不同处理雌雄成虫寿命之间均无显著性差异。雌虫无论是否交尾均会产卵, 交尾雌虫的产卵率、产卵量和产卵天数都比未交尾雌虫多。[结论] 异斑酷大蚕蛾雌虫主要在白天羽化, 雄虫主要在夜晚羽化。成虫的求偶交尾等行为主要在暗期进行, 羽化初期雌虫的生殖行为更活跃。

关键词: 异斑酷大蚕蛾; 羽化节律; 生殖行为; 求偶; 交配; 产卵

中图分类号: S763.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)06-0023-09

异斑酷大蚕蛾 (*Cricula variabilis* Naumann & Löffler) 隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 大蚕蛾科 (Saturniidae) 小字大蚕蛾属 (*Cricula*), 该虫于 2019 年 4 月在广州市增城区大封门林场爆发危害, 是林区的重大阔叶树食叶害虫, 其幼虫主要危害中华润楠 (*Machilus chinensis* (Champ. ex Benth.) Hemsl.), 此外, 还会取食黧蒴锥 (*Castanopsis fissa* (Champion ex Benth.) Rehder et E. H. Wilson)、鸭脚木 (*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、枇杷叶紫珠 (*Callicarpa kochiana* Makino) 等多种阔叶树, 严重时可造成林区阔叶乔木大面积枯死^[1-2], 其中对润楠属树种危害最为严重。润楠属树种在我国种类较多、分布较广, 具有干直, 速生, 木材轻

软, 纹理直, 耐腐等特性, 大部分可作为建筑、家具用材、药用树种、园林绿化、工业原料等多种用途, 具有显著的经济意义^[3]。

目前, 昆虫性信息素作为绿色环保高效防治方法之一, 不仅可以监测害虫的发生动态, 而且还可以大量诱捕害虫, 干扰成虫交配。如今, 越来越多的昆虫性信息素已应用到农林害虫的无公害绿色防控中^[4-8]。昆虫生殖行为学的研究可以更好地了解害虫性信息素的产生和释放节律, 为性信息素的提取和鉴定提供参考。国内已有研究人员对六星黑点豹蠹蛾 (*Zeuzera leuconotum* Butler)、楼裳夜蛾 (*Catocala remissa* Staudinger)、枣粘虫 (*Ancylis sativa* Liu) 和杨小舟蛾 (*Micromelalopha sieversi*

收稿日期: 2019-09-28 修回日期: 2020-03-13

基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2019KJCX016)

* 通讯作者: 温秀军, 男, 博士, 主要研究方向: 森林昆虫学、城市昆虫学、昆虫化学生态方面的研究, E-mail: wenxiujun@scau.edu.cn

马涛, 男, 博士, 主要研究方向: 昆虫信息化控制技术及天然活性产物的研究, E-mail: matao@scau.edu.cn

(Staudinger))等鳞翅目害虫的生殖生物学特性进行报道^[9-12],但有关大蚕蛾科昆虫的生殖行为研究极少,因此,有必要开展异斑酷大蚕蛾生殖行为学研究,可为其性信息素研究和新型防治策略制定提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试虫源采自广东省广州市增城区大封门林场(23°36'N, 113°47'E),然后将其带回实验室暗室内进行饲养(温度 $27\pm 1^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $75\%\pm 5\%$,光暗周期L:D=12h:12h,其中光期19:00—7:00,暗期7:00—17:00),将幼虫分装在收纳箱(62.5cm×45.5cm×35cm)内每天更换新鲜的中华润楠枝叶,饲养至其全部化蛹,按化蛹日期与不同性别分别放置在各个网笼(50cm×50cm×50cm)内饲养至羽化。成虫羽化24h内视为1日龄,以此类推。

1.2 羽化行为观察及动态节律

每天定时观察蛹的羽化情况,直到第1头成虫羽化开始,持续每天观察成虫的羽化行为(在暗期使用红光进行观察),每隔1h观察记录1次雌雄成虫的羽化数,并收集雌雄成虫放置在新的网笼内分开饲养,直到所有蛹全部羽化。

1.3 求偶行为观察及动态节律

预实验表明:异斑酷大蚕蛾雄蛾没有释放性信息素的能力,但在暗期前1个小时内会表现出兴奋、剧烈振翅等行为;雌蛾求偶行为主要为释放性信息素,通常在光期最后2个小时内开始。为此,将新羽化的处女雌蛾分别单独放在500mL透明塑料圆形盒中,每天5点(光期10h)观察其求偶行为,实验设置3组重复,每组10只雌蛾,共观察30只雌蛾求偶始末时间与持续时间,每隔30min记录1次,直到全部雌蛾求偶结束为止。

1.4 交尾行为观察及动态节律

将同一天新羽化的雌雄成虫1对放入500mL透明塑料圆形盒中饲养并进行观察记录,共设置3个重复,每个重复10对成虫,共30对成虫,观察方法同1.3。

1.5 产卵行为观察及动态节律

待1.4中的实验组交尾后,将已交尾的雌雄成虫集中在一起,观察其产卵行为,每天记录产卵时间与产卵量,同时以1.3中处女雌蛾为对照,记录其产卵时间与产卵量,直到所有雌蛾死亡为止。

1.6 成虫寿命

将新羽化的雌雄成虫分别单独放置在300mL透明塑料圆形盒内进行饲养并记录其羽化日期,与1.4中已交尾雌雄成虫实验组作对比,每天观察记录两组的死亡数。

1.7 数据处理

交尾率=交尾对数/总对数×100%,求偶率、产卵率计算方法同上。所有数据采用Excel 2013进行统计整理、SPSS 22.0进行方差分析,使用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 羽化过程

成虫羽化前,蛹体先从背中中线处裂开,通过持续不断的蠕动,成虫头部得以完全露出,进而成虫的足开始从蛹体慢慢伸出,此过程通常持续5~10min。待成虫触角晾干以后,成虫腹部开始进一步扭动,同时借助胸足一起推开腹部蛹壳,成虫得以从蛹壳中完全爬出,此时成虫腹部粗长,翅尚未完全展开。之后成虫开始分泌溶解液,将虫茧顶端的蚕丝化开,成虫爬出即开始寻找空旷处进行展翅(图1),待双翅完全展开晾干后会排泄蛹便,整个羽化过程持续20~30min。

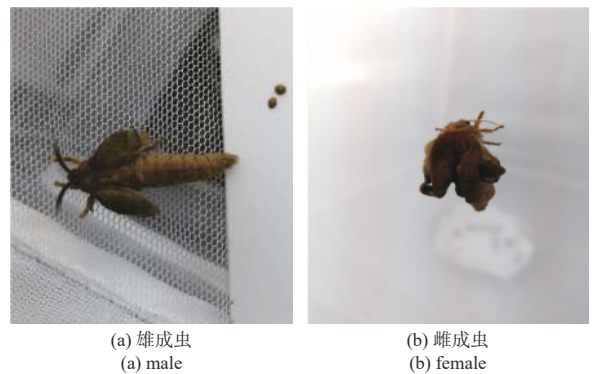


图1 初羽化成虫

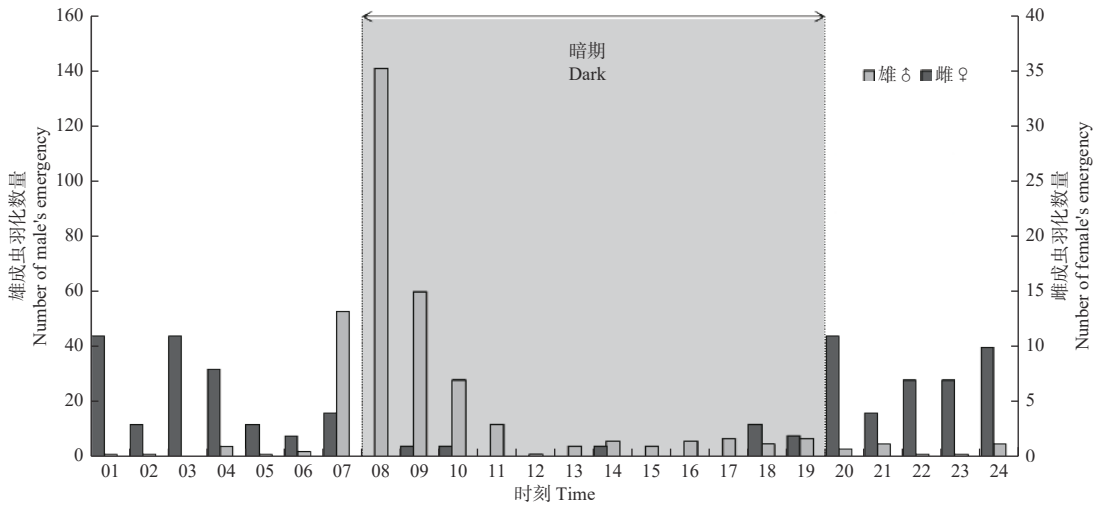
Fig. 1 Initial emergence adult

2.2 羽化节律

共计观察异斑酷大蚕蛾蛹618个,雌雄蛹比例约为1:5.24,其中雌蛹99个,羽化率为89.90%;雄蛹519个,羽化率为68.98%。图2显示,异斑酷大蚕蛾在各个时段内均有羽化,但是雌雄成虫羽化时段明显不同。雌成虫主要集中在光期羽化,光期羽化的数量占羽化总数91.01%,其中光期1~9h

为雌蛾的羽化高峰期, 占羽化总数的 80.90%; 雄成虫主要集中在暗期羽化, 暗期羽化的数量占羽化

总数的 78.49%, 羽化高峰期为暗期 1~4 h, 占羽化总数 82.12%。



注: 横坐标轴 01 为 0:00-1:00, 以此类推。

Note: The "01" on horizontal axis is "0:00-1:00", and so on.

图 2 异斑酷大蚕蛾羽化时辰节律

Fig. 2 The time rhythm of adult emergence

异斑酷大蚕蛾蛹期约为 22 d 左右, 自第一只成虫羽化到最后头成虫羽化结束, 共历时 16 d, 如图 3 可见, 雄虫主要集中在 5 月 3 日到 10 日羽化,

羽化峰值在 5 日, 雌虫主要在 5 月 4 日到 11 日羽化, 7 日羽化最多。雄虫羽化日动态节律呈单峰性, 雌虫羽化峰相比雄虫有明显滞后性, 且出现多个峰。

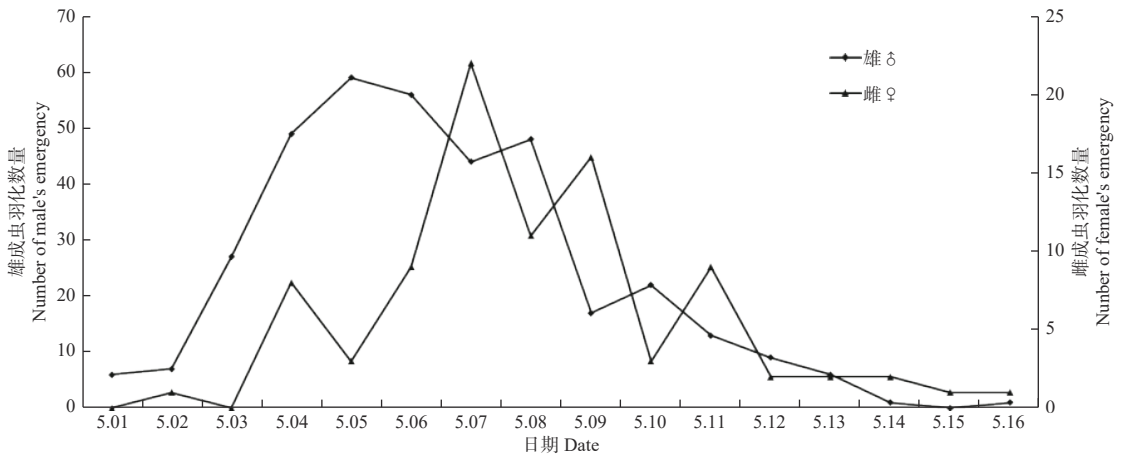


图 3 异斑酷大蚕蛾羽化日动态节律

Fig. 3 The daily rhythm of adult emergence

2.3 求偶与交尾过程

观察到异斑酷大蚕蛾雌蛾开始求偶, 释放性信息素, 雄蛾未发现求偶行为。雌蛾在进入暗期前即开始求偶, 最早求偶时间为 5:00, 即光期第 11 h。雌蛾开始微微振动翅膀, 腹部第八、第九节间膜上的性腺表皮开始外翻、膨胀, 形成两个半球状黄褐色突起 (图 4a), 持续膨胀与收缩, 腹部末端的

产卵器外伸并暴露于空气中。雄蛾在此期间, 表现为在透明塑料圆形盒内开始剧烈振动翅膀等行为, 该过程一般从 5 点开始, 持续到 8 点左右, 即进入暗期 1 h 内。可以观察到交尾实验组的部分雌蛾会因雄蛾的兴奋状态而影响性信息素的释放, 每次中断后一般 5~15 min 内会继续恢复释放性信息素。

在准备交尾前, 雄蛾会飞到雌蛾附近停留, 大

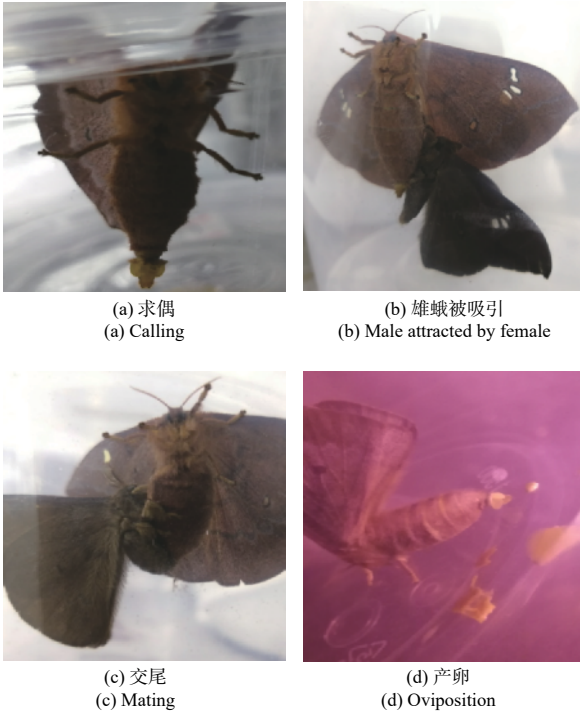
(a) 求偶
(a) Calling(b) 雄蛾被吸引
(b) Male attracted by female(c) 交尾
(c) Mating(d) 产卵
(d) Oviposition

图4 成虫生殖行为

Fig. 4 Adult's reproductive behavior

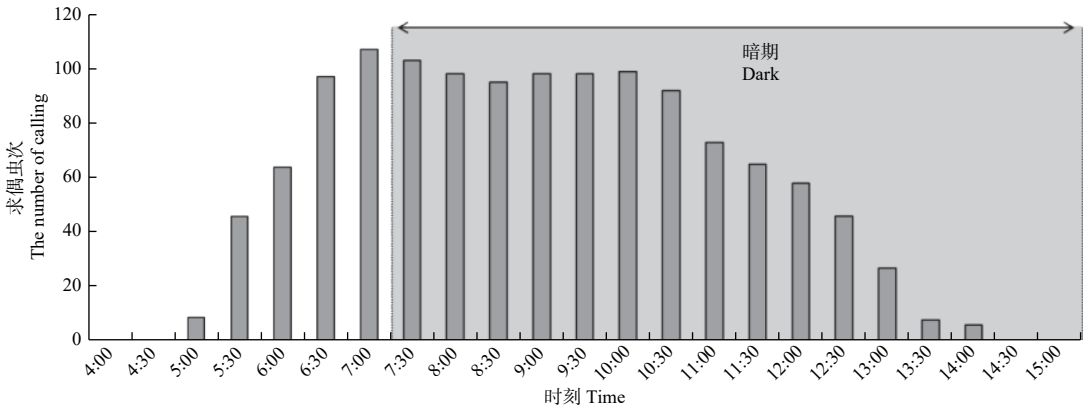


图5 成虫求偶时辰动态节律

Fig. 5 The time rhythm of adult calling behavior

异斑醋大蚕蛾从羽化第1日起即开始释放雌激素，且成虫1日龄雌激素释放率最高，与成虫3~7日龄雌激素释放率差异显著 ($P < 0.05$)，1日龄往后的个体雌激素释放率递减。而雌激素释放时长分布呈现M型，5日龄成虫雌激素释放时长最高，2日龄次之，1~6日龄成虫间的雌激素释放时长均无显著性差异。成虫1~3日龄雌激素释放高峰期均在暗期2~3 h内，但1日龄与2日龄差异显著 ($P < 0.05$)，其他日龄成虫雌激素释放高峰期均在暗期1~2 h内 (表1)。此次实验共有30对成虫，交尾率为46.67%，其中1、2日龄交尾

部分雄蛾会爬到雌蛾体躯，并用足紧抱雌蛾的腹部，开始做交尾准备 (图4b)，5~10 min后即开始交尾 (图4c)，少部分雄蛾也会停留在雌蛾附近，采取“一字型”方式交尾，交尾一般持续3 h左右。而未交尾的雌蛾会在11:00以后陆续停止求偶，性腺体慢慢收缩，此时仅仅是第八、第九节间膜被拉长，持续2~3 h后，雌蛾恢复至正常栖息状态。

2.4 雌激素释放、交尾节律

异斑醋大蚕蛾最早雌激素释放时间为4:40左右，从5:00开始雌激素释放的雌蛾逐渐增多 (图5)，在7:00接近峰值，一直持续到10:30以后雌蛾开始逐渐停止交尾，雌激素释放高峰期在5:30—11:30，该时段释放雌激素的雌蛾占84.48%。雌蛾的激素释放时段主要分布在暗期，暗期雌激素释放虫次占总虫次的74.94%。同时，雌雄成虫交尾时段也是主要分布在暗期 (图6)，暗期交尾的虫次占89.47%，交尾高峰期在7:00—10:30，该时段交尾虫次占80.00%。

率最高 (表2)，与4日龄交尾率差异显著 ($P < 0.05$)，而交尾时长也是4日龄成虫最低，与1日龄成虫交尾率差异显著 ($P < 0.05$)。在交尾高峰期上，成虫1~4日龄间并无显著性差异，未观察到5日龄以上的成虫有交尾行为 (表2)。

2.5 产卵过程与节律

雌蛾交尾结束后10~30 min内会进行产卵，数额不定，且产卵通常在暗期进行 (图4d)。刚产的卵呈米黄色，之后卵粒逐渐变成乳白色。在野外，交尾后的雌蛾会在寄主叶片背面产卵，产卵方式为聚产，产卵位置在距叶缘4~6 mm处，卵较

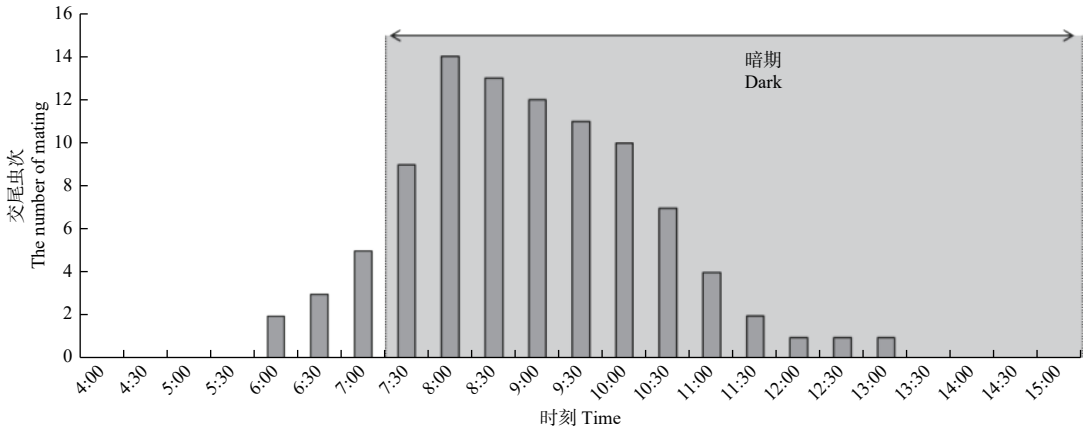


图 6 成虫交尾时辰动态节律

Fig. 6 The time rhythm of adult mating behavior

表 1 雌成虫不同日龄的雌激素释放行为

Table 1 Calling behavior of female adults at different ages

日龄 Day-old	雌激素释放高峰期 Peak period of calling/h	雌激素释放率 Ratio of calling/%	雌激素释放时长 Duration of calling/h
1	2.43 ± 0.10 a	93.33 ± 6.67 a	5.44 ± 0.20 a
2	2.07 ± 0.12 b	76.67 ± 8.82 ab	5.62 ± 0.33 a
3	2.10 ± 0.15 ab	70.00 ± 5.77 bc	5.32 ± 0.56 ab
4	1.58 ± 0.17 c	56.67 ± 6.67 cd	4.94 ± 0.67 ab
5	1.72 ± 0.17 bc	40.00 ± 0.00 de	5.74 ± 0.62 a
6	1.48 ± 0.21 c	36.67 ± 3.33 e	4.80 ± 0.73 ab
7	1.12 ± 0.32 c	16.67 ± 3.33 f	3.43 ± 0.41 b

注:表中数值都为平均值 ± 标准误差,同一纵列中不同字母代表差异显著(P < 0.05),下同。雌激素释放高峰期数值均为进入暗期后的时长。

Note: Data in the table are mean ± SE. Data in a column with different letters are significantly different (P < 0.05), the same below. The value of the "Peak period of calling" is the length of time after entering the dark period.

表 2 成虫不同日龄的交尾行为

Table 2 Mating behavior of adults at different ages

日龄 Day-old	交尾高峰期 Peak period of mating/h	交尾率 Ratio of mating/%	交尾时长 Duration of mating/h
1	2.04 ± 0.26 a	20.00 ± 5.77 a	3.21 ± 0.60 a
2	1.81 ± 0.22 a	20.00 ± 5.77 a	2.81 ± 0.34 ab
3	1.88 ± 0.27 a	6.67 ± 3.33 ab	3.04 ± 0.04 ab
4	1.75 ± 0.32 a	3.33 ± 3.33 b	1.33 ± 0.17 b

多时每枚叶片上有 70~110 粒卵,排列呈“U”字型,卵粒部分堆叠(图 7a);卵较少时每枚叶片上有 10~30 粒卵,呈圆弧状排列。在室内,交尾雌蛾产卵方式为散产,一次产卵较多时卵粒会堆积且无规律性(图 7b)。

交尾过的雌蛾一般会在交尾后连续 2~3 d 产卵,且产卵数呈递减趋势。未交尾的雌蛾通常在寿命即将耗尽的最后几天内产卵,产卵数呈递增趋势。交尾雌蛾最大产卵量为 271 粒,最长产卵期

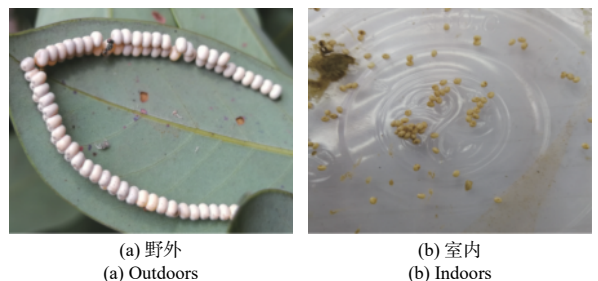


图 7 不同环境下雌蛾产卵

Fig. 7 Oviposition pattern in different environments

为6 d, 最大日产卵量为191粒。未交尾雌蛾最大产卵量为234粒, 最长产卵期为6 d, 最大日产卵量为220粒。交尾与未交尾雌蛾产卵情况不同

(表3), 交尾雌蛾无论产卵率、产卵天数与产卵数均高于未交尾雌蛾, 且不同处理雌蛾在产卵数上差异显著($P < 0.05$)。

表3 不同处理雌虫产卵行为

Table 3 Oviposition behavior of female under different treatments

处理 Treatment	产卵率 Oviposition rate/%	产卵虫数 Number of adults after oviposition	产卵期 Oviposition days/d	产卵量 The egg number
交尾雌蛾 Mated female	95.24	20	3.30 ± 0.34 a	163.65 ± 16.28 a
未交尾雌蛾 Virgin female	74.07	40	2.60 ± 0.26 a	107.45 ± 11.36 b

2.6 成虫寿命

异斑酷大蚕蛾成虫寿命与交尾情况有关(表4), 成虫平均寿命为5 d左右, 未交尾雌(雄)虫平均

寿命大于交尾雌(雄)虫, 相同生殖状态下雌虫平均寿命大于雄虫, 但是不同处理雌雄成虫寿命之间均无显著性差异。

表4 不同处理成虫寿命

Table 4 The lifespan of adults under different treatments

处理 Treatment	观察虫数 Number of samples	最短寿命 Minimum lifespan/d	最长寿命 Maximum lifespan/d	平均寿命 Mean of lifespan/d
未交尾雄 Virgin male	33	2	9	5.02 ± 0.10 a
未交尾雌 Virgin female	33	3	10	5.27 ± 0.34 a
交尾雄 Mated male	14	2	7	4.71 ± 0.41 a
交尾雌 Mated female	14	2	8	4.93 ± 0.46 a

3 讨论

蛾类昆虫的生殖过程是从羽化开始的, 随着雌蛾性器官发育成熟开始在体内合成性信息素, 而后才有成虫求偶、交尾、产卵等一系列生殖行为, 其中光照条件、昼夜节律等重要因子, 对昆虫的生殖行为及生理代谢都具有显著影响^[13-14]。同样, 异斑酷大蚕蛾的羽化和生殖行为受昼夜节律影响显著且有明显阶段性, 全天可见成虫羽化, 但是雄蛾主要在暗期羽化, 而雌蛾主要在光期羽化, 这种雌雄羽化时段的非一致性不同于其他的蛾类, 如褙裳夜蛾(*C. remissa*)、甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua* (Hodopte))主要在暗期羽化^[10, 15], 核桃举肢蛾(*Atrijuglans hetaohei* Yang)、苹果蠹蛾(*Cydia pomonella* L.)主要在光期羽化^[16-17]。且与大多数蛾类羽化规律一样, 雄成虫羽化一般要早于雌成虫1~2 d, 推测这种羽化日期的差异可以使雄虫更早性成熟, 以便于寻找刚羽化的处女雌虫进行交尾。

不同鳞翅目昆虫的性发育时间存在着差异, 黄野螟(*Heortia vitessoides* Moore)需要1 d时间^[18],

褙裳夜蛾需要2 d时间^[10], 而异斑酷大蚕蛾羽化当天的1日龄成虫就已经性成熟, 可以开始释放雌性激素、交尾、产卵等一系列生殖行为, 这与杨扇舟蛾(*Clostera anachoreta* (Fabricius))、杨小舟蛾(*M. sieversi*)、黄褐幕枯叶蛾(*Malacosoma neustria testacea* L.)等蛾类相似^[12, 19-20], 推测由于异斑酷大蚕蛾成虫寿命较短, 所以性成熟的时间缩短, 成虫羽化后数小时即可性成熟。成虫生殖行为主要在临近暗期和暗期前段时段内进行, 而大部分蛾类天敌(鸟类、蝙蝠)都有着明显的昼夜节律, 该生殖行为特点可以使成虫避开大部分天敌的捕食, 且成虫求偶、交尾行为的高峰期在前后时间上的延续进行, 体现了该虫羽化、求偶、交尾等行为是具有协调性的。随着日龄的增加, 雌蛾的求偶率与求偶时长会显著减少, 且求偶的时段会逐渐提前, 这种生殖行为策略与大多数鳞翅目昆虫相似^[21-23], 这也符合Swier的观点, 高龄雌蛾以提前求偶来增加对低龄雌蛾的交配竞争力^[24]。同样地, 雌蛾交尾率与交尾时长也与日龄成负相关关系, 这与六星黑点豹蠹蛾高龄成虫交尾时长更长不同^[25], 一般来说, 成虫交配时间会受日龄的影响, 雄虫可

以在交配过程中通过延长交配时间来增加生殖力, 以达到占有雌虫, 降低其再次交配的几率^[26-27], 但是由于生命力不足反而会使雌雄双方付出更高的交配价^[12]。观察发现通常高龄雌蛾求偶持续时长突然缩短以后, 当天就会死亡, 说明求偶时长突然缩短主要是由于生命力不足引起。昆虫成虫阶段主要的生存意义即繁衍后代, 同样异斑酷大蚕蛾雌蛾交尾结束后会立刻进行产卵, 通常产卵持续2~4 d, 交尾成虫产卵周期比未交尾成虫长, 最长产卵天数可达6 d, 与交尾雌蛾寿命相当, 且交尾行为会显著影响雌蛾的产卵量 ($P < 0.05$)。另有研究表明, 植食性昆虫可以通过视觉、味觉、嗅觉和触觉等行为模式对产卵方式、产卵场所的识别与选择等行为进行调控^[28-29], 依照“Preference-Performance”学说, 植食性昆虫的幼体的环境适应能力通常取决于成虫的寄主选择行为, 对于这类昆虫, 会优先选择那些能最大限度使其后代存活的植物, 导致成虫产卵偏好跟幼虫生长存活、种群参数之间有正相关关系^[30-33]。因此异斑酷大蚕蛾才会选择在有利于后代发育生长的最佳寄主上进行产卵, 在这个过程中寄主植物的形状、颜色以及挥发性物质都会对昆虫的选择产生影响^[34-35], 所以异斑酷大蚕蛾在室内与野外采取不同的产卵方式很可能与生境或寄主植物有关。相同生殖情况下雌虫平均寿命大于雄虫, 未交尾成虫平均寿命大于交尾成虫, 证明交尾行为可以减少成虫的寿命, 这一规律已在大部分鳞翅目蛾类昆虫中进行报道^[10, 18, 20, 36]。

近些年来, 昆虫性信息素因其高效专一、绿色环保、不产生耐药性、对天敌无害等优点, 成为害虫防治的一项重要手段^[8, 37], 因此, 掌握成虫的生殖行为节律有利于把握提取性信息素的最佳时机, 为下一步研究异斑酷大蚕蛾性信息素活性组分与野外诱捕试验奠定基础, 进而通过性信息素引诱法诱杀雄蛾或迷向法干扰雌雄蛾交配等方式降低交配率, 从而降低林间异斑酷大蚕蛾的种群密度。

4 结论

异斑酷大蚕蛾雌雄羽化时间有着非一致性, 雄蛾主要在暗期羽化, 雌蛾主要在光期羽化。成虫生殖行为主要在临近暗期和暗期前段时段内进行, 且1日龄成虫生殖行为最为活跃, 成虫的求偶(交尾)高峰期、求偶(交尾)率、求偶(交尾)时长

均与日龄成负相关关系。交尾会减少雌雄成虫的寿命, 无论是否交尾雌蛾都会产卵, 但是交尾雌蛾的产卵率、产卵量和产卵天数比未交尾雌蛾都要多。

参考文献:

- [1] 陈刘生, 李琨渊, 黄焕华, 等. 阔叶树食叶新害虫—异斑酷大蚕蛾研究初报[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 1011-1017.
- [2] 张锦坤, 胡可炎, 张国祥, 等. 异斑酷大蚕蛾幼虫、蛹和成虫的性别鉴定[J/OL]. 环境昆虫学报, 1-9 [2020-08-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20200422.0814.004.html>.
- [3] 徐振东, 杨曼, 胡蝶, 等. 润楠属主要树种的资源状况、研究现状和开发利用前景[J]. 长江大学学报: 自科版, 2016, 13(3): 13-17.
- [4] Witzgall P, Kirsch P, Cork A. Sex pheromone and their impact on pest management[J]. Journal of Chemical Ecology, 2010, 36(1): 80-100.
- [5] Mori B A, Evenden M L. Challenges of mating disruption using aerosol-emitting pheromone puffers in red clover seed production fields to control *Coleophora deauratella* (Lepidoptera: Coleophoridae)[J]. Environmental Entomology, 2015, 44(1): 34-43.
- [6] Ma T, Liu Z T, Lu J, et al. A key compound: (Z)-9-tetradecen-1-ol as sex pheromone active component of *Hypsipyla robusta* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Chemecology, 2015, 25(6): 325-330.
- [7] Ma T, Liu Z T, Wang C, et al. Production, identification, and field evaluation of sex pheromone from calling females in *Diaphania angustalis* (Lepidoptera: Crambidae)[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(31): 24485-24493.
- [8] 马涛, 林娜, 周丽丽, 等. 性信息素迷向干扰防控害虫的研究进展及应用前景[J]. 林业科学研究, 2018, 31(4): 172-182.
- [9] 刘金龙, 荆小院, 杨美红, 等. 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1126-1133.
- [10] 郑海霞, 阎毅, 张金桐, 等. 蓑袋夜蛾成虫生物学与性趋向[J]. 林业科学, 2014, 50(12): 87-93.
- [11] 韩桂彪, 杜家伟, 李捷. 枣粘虫交配行为生态学研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 99-102.
- [12] 范立鹏, 黄范全, 王鸿斌, 等. 杨小舟蛾(鳞翅目: 舟蛾科)的生殖行为[J]. 林业科学, 2015, 51(8): 60-66.
- [13] 万先萌, 刘伟, 魏洪义, 等. 蛾类昆虫的生殖行为[J]. 江西植保, 2010, 33(1): 3-7+11.
- [14] 骆丹, 徐川峰, 殷立新, 等. 生态因素对蛾类昆虫交配与生殖的影响[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 963-973.
- [15] 李建勋, 李娟, 程伟霞, 等. 甜菜夜蛾成虫生物学特性研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 318-322.
- [16] 南小宁, 王英宏, 张力元, 等. 核桃举肢蛾田间羽化节律与交配行为[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(2): 243-249.
- [17] 魏玉红, 罗进仓, 刘月英, 等. 苹果蠹蛾羽化产卵及卵孵化的昼夜节律[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 143-146.
- [18] 王忠, 谢伟忠, 朱诚祺, 等. 黄野螟的羽化和生殖行为节律[J]. 中

- 国森林病虫, 2018, 37(1): 24-27+30.
- [19] 刘满光, 侯军铭, 张秀红, 等. 杨扇舟蛾生殖生物学观测[J]. 中国森林病虫, 2009, 28(4): 1-4.
- [20] 武玉洁, 刘志雄, 张金桐, 等. 黄褐幕枯叶蛾生殖行为研究和林间引诱试验[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(5): 1131-1139.
- [21] Mazor M, Dunkelblum E. Circadian rhythms of sexual behavior and pheromone titers of two closely related moth species *Autographa gamma* and *Cornutiplusia circumflexa*[J]. Journal of Chemical Ecology, 2005, 31(9): 2153-2168.
- [22] Zarbin P H G, Lorini L M, Ambrogi B G, et al. Sex pheromone of *Lononia obliqua*: daily rhythm of production, identification, and synthesis[J]. Journal of Chemical Ecology, 2007, 33(3): 555-565.
- [23] 杨美红, 张金桐, 刘金龙, 等. 榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律[J]. 昆虫学报, 2010, 53(11): 1273-1280.
- [24] Swier S R, Rings R W, Musick G J. Age-related calling behaviour of the black cutworm *Agrotis ipsilon*[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1977, 70: 919-924.
- [25] 刘金龙, 宗世祥, 张金桐, 等. 六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4919-4927.
- [26] Cloutier C, Duperron J, Teruhano M, et al. Host instar, body size and fitness in the koinobiotic parasitoid *Aphidius negripes*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2000, 97(1): 29-40.
- [27] Jones V P, Aihara-Sasaki M. Demographic analysis of delayed mating in mating disruption: a case study with *Cryptophelbia illepada* (Lepidoptera: Tortricidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2001, 94(4): 785-792.
- [28] Todd J L, Phelan P L, Nault L R. Interaction between visual and olfactory stimuli during host-finding by leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16(7): 2121-2133.
- [29] Košťál V. Physical and chemical factors influencing landing and oviposition by the cabbage root fly on host-plant models[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1993, 66(2): 109-118.
- [30] Jaenike J. On optimal oviposition behavior in phytophagous insects[J]. Theoretical Population Biology, 1978, 14(3): 350-356.
- [31] Steinberg P P D. Preference-performance relationships and effects of host plant choice in an herbivorous marine amphipod[J]. Ecological Monographs, 1999, 69(4): 443-464.
- [32] Heisswolf A, Obermaier E, Poethke H J. Selection of large host plants for oviposition by a monophagous leaf beetle: nutritional quality or enemy-free space[J]. Ecological Entomology, 2005, 30(3): 299-306.
- [33] 尹 姣, 薛银根, 乔红波, 等. 粘虫(*Mythimna separata* Walker)选择产卵场所的意义及颜色在定位中的作用[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2483-2489.
- [34] 莫圣书, 赵冬香, 陈 青. 植物挥发物与昆虫行为关系研究进展[J]. 热带农业科学, 2006, 26(6): 84-89+93.
- [35] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5113-5122.
- [36] 刘永华, 阎雄飞, 章一巧, 等. 栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(5): 1253-1259.
- [37] 马 涛, 温秀军, 李兴文. 昆虫性信息素人工合成技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(6): 46-50.

Observation of Emergence Rhythm and Reproductive Behavior of *Cricula variabilis*: A Insect Pest of *Machilus chinensis*

ZHANG Jin-kun¹, HU Ke-yan¹, ZHANG Guo-xiang¹, Fan Ling-hua¹, FENG Ying²,
WANG Cai¹, WEN Xiu-jun¹, MA Tao¹

(1. Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China; 2. Forest Resources Conservation Center of Guangdong Province, Guangzhou 510173, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] To elucidate the pattern of emergence, calling, mating, and oviposition of *Cricula variabilis*, and provide references basis for the study on sex pheromones and ecology-friendly monitoring and controlling of this insect. [Method] The late-instar larvae were collected and bred in laboratory. Observation of the emergence and reproductive behavior of the adults were conducted, and relevant data were analyzed. [Result] Significant differences were found in the sex ration of emerged adults and in the number of occurrence in dark and light period. Adult emergence occurred throughout the day, amongst all male adult 78.49% emerged in the dark period, whereas 91.01% of female emerged in the light period. The emergence date of male was earlier than that of the female. Female calling occurrence peaked at 5:30–11:30 and the mating occurrence peaked at 7:00–10:30. The calling behavior of females was begun at the 1-day-old, which was the most vigorous. Female reproductive vigor was negatively correlated with the age. The average lifespan of female was greater than that of male under the same reproductive conditions, but there was no significant difference in the lifespan between male and female adults. Both mated and virgin adults could lay eggs, but mated female possessed higher eggs number, oviposition rate and duration. [Conclusion] Emergence of female *C. variabilis* mainly occurs during the day, and emergence of male mainly occurs at night. The adult's calling, mating and other behaviors mainly carry out in the dark period. The reproductive behavior of female in early emergence is more active.

Keywords: *Cricula variabilis*; emergence rhythm; reproductive behavior; calling; mating; oviposition

(责任编辑: 崔 贝)