

栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究^{*}

刘永华^{1,2**} 阎雄飞² 章一巧¹ 齐连珍³ 陆鹏飞¹ 宗世祥¹ 骆有庆^{1***}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与森林保护教育部重点实验室 北京 100083;
2. 榆林学院生命科学学院 榆林 719000; 3. 陕西吴起县林业站 吴起 717600)

摘要 栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina* Yang 是近年在沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 林中大面积暴发的一种食叶害虫。通过野外调查和室内饲养观察相结合对该虫的羽化、交配和产卵等行为等进行了研究。结果表明,栎黄枯叶蛾羽化期 40 d 左右,羽化高峰期为 9 月上旬,日羽化高峰出现在傍晚 17:00—23:00,占全天羽化量的 82.46%;雌雄性比为 1:1.41;交配高峰期发生在凌晨 3:00—4:00,成虫羽化翌日开始进行交尾,2 日龄雌蛾交配率最高,达到 45.6%,随后交配率逐步降低。雌蛾一生只交尾 1 次,雄蛾可进行多次交尾。成虫交配持续时间多为 14~16 h。成虫交配后即可产卵,产卵主要在夜间进行,产卵高峰期为 2:00—6:00,占全天产卵量的 82.40%。未交配雌蛾和雄蛾的平均寿命为 11.05 d 和 9.85 d;显著高于已交配雌蛾和雄蛾的 8.05 d 和 7.35 d,说明交配可明显缩短雌雄成虫寿命。

关键词 栎黄枯叶蛾,羽化,求偶,交尾,产卵,寿命

The eclosion and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae)

LIU Yong-Hua^{1,2**} YAN Xiong-Fei² ZHANG Yi-Qiao¹ QI Lian-Zhen³
LU Peng-Fei¹ ZONG Shi-Xiang¹ LUO You-Qing^{1***}

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Life Sciences, College of Yulin, Yulin 719000, China;
3. Station of Forestry of Wuqi County in Shannxi, Wuqi 717600, China)

Abstract *Trabala vishnou gigantina* Yang has become a serious leaf-eating pest of *Hippophae rhamnoides* in recent years. The eclosion, mating and oviposition of this species were studied through field surveys and laboratory observations. The emergence period was found to last for 40 days, with the peak of eclosion observed in early September. The daily emergence peak was from 17:00 to 23:00, with 82.46 percent of daily emergences occurring during this period. The ratio of females to males was 1:1.41, and the mating peak took place from 3:00–4:00. The mating rate was highest on the second night (45.6%) and then decreased gradually. Females normally copulated only once in their life, whereas males copulated several times. For most adults, the duration of mating was 14–16 hours. Approximately 82.40% of eggs were laid at night. The lifespan of virgin females and unmated males were 11.05 days and 9.85 days on average, respectively, whereas that of non-virgin females and males was 8.05 days and 7.35 days on average, respectively. This indicates that mating shortens the lifespan of both sexes.

Key words *Trabala vishnou gigantina*, eclosion, courtship, mating, oviposition, life span

栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina* Yang 属 鳞翅目 (Lepidoptera) 枯叶蛾科 (Lasiocampidae), 为 栗黄枯叶蛾 *Trabala vishnou* Lefebure 的亚种, 主要分布于我国陕西、宁夏、青海、内蒙、甘肃、河南、山

^{*} 资助项目: 林业公益性行业科研专项 (201004003); “十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAD19B07); 国家自然科学基金 (31270693); 陕西省教育厅专项科学研究项目 (2013JK0708)。

^{**} E-mail: liuyonghua@126.com

^{***} 通讯作者: E-mail: youqingluo@126.com

收稿日期: 2012-09-20, 接受日期: 2012-10-10

西、河北等地,危害栎类、板栗、核桃、苹果、海棠、沙棘等植物(刘友樵和武春生,2006)。近年来栎黄枯叶蛾在陕西吴起沙棘人工林中大面积暴发,幼虫取食叶片,往往将受害区内的树叶全部吃光,造成树势下降甚至死亡,严重影响到了沙棘种植区的生态建设和经济发展。在为害最为严重的2008年,有虫株率达100%,平均虫口密度30头/株。

目前,由于缺乏有效的防治方法和过分依赖化学农药,造成栎黄枯叶蛾危害日趋严重,并且产生了严重的环境问题。目前仅对栎黄枯叶蛾的形态特征和生活习性有一些简单报道(同长寿,1964;萧刚柔,1992),关于成虫行为方面还缺乏系统深入研究。而昆虫成虫行为的研究是防治害虫重要内容之一。为了探索防治栎黄枯叶蛾科学方法和途径,笔者对栎黄枯叶蛾的羽化、交尾、产卵等成虫行为进行了全面细致的观察。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在陕西省吴起县(东经 $107^{\circ}38'$ ~ $108^{\circ}32'$,北纬 $36^{\circ}33'$ ~ $37^{\circ}24'$),属黄土高原梁状丘陵沟壑区,海拔1 233~1 809 m。境内为半干旱温带大陆性季风气候,年均气温 7.8°C ,年降水量478.4 mm,无霜期146 d。试验地主要植被类型为人工沙棘林,平均虫口密度达到8.3头/株。试验分别于2011—2012年7—10月成虫发生期进行。

1.2 试虫及其饲养

在沙棘林采集栎黄枯叶蛾老熟幼虫,带回室内在自然条件下饲养于养虫笼(50 cm×50 cm×50 cm)中,以新鲜沙棘叶片饲喂,直至化蛹羽化。羽化后按性别和日龄将其分别置于养虫笼(30 cm×30 cm×30 cm)内。成虫羽化后0~24 h视作1日龄,依此类推。

1.3 研究方法

1.3.1 栎黄枯叶蛾羽化行为及其动态节律 幼虫化蛹后,每天定时观察。当第1头成虫羽化后,进行全天24 h观察,每隔1 h观察记录一次羽化情况,直至所有的蛹羽化完为止,试验重复3次,总共查蛹1 078只。观察羽化过程和时间,计算羽化率,记录各个时段羽化成虫的性别数量。以加权平均法计算雌雄羽化时间差(王永模等,2003):

$$M_{\text{差异(d)}} = \text{雌虫羽化 } M_{\text{♀}} - \text{雄虫羽化 } M_{\text{♂}},$$

$$M = (x_1 \times 1 + x_2 \times 2 + \cdots + x_n \times n) / (x_1 + x_2 + \cdots + x_n),$$

x_n 为第 n 天(自羽化初日算起)的羽化数量。

1.3.2 栎黄枯叶蛾求偶交配行为及其动态节律

将当日羽化的20对栎黄枯叶蛾成虫放于同一笼中任其自由交配。光期(6:00—18:00)每隔1 h观察一次,进入暗期(18:00—6:00)后每隔30 min,在红色弱光源观察记录求偶交配行为及时间,连续观察7 d,试验重复3次。每次检查时记录在此时段的交配数,每对交配开始的时间以及交尾持续的时间。

1.3.3 栎黄枯叶蛾产卵行为及其动态节律 将已交配雌蛾和未交配雌蛾各20头单个置于小纱笼(15 cm×15 cm×15 cm)内,放入带有叶片的沙棘枝条,观察和记录产卵时间、产卵方式和产卵量。

1.3.4 栎黄枯叶蛾成虫寿命 将同日羽化的未交配和已交配成虫按雌雄分别放入塑料杯中,杯口用双层纱布覆盖,橡皮筋扎紧,保持空气流通。每个处理20头,每天定时检查,直至全部死亡,统计其寿命。

1.3.5 数据统计与处理 采用DPS 7.05统计软件对数据进行分析处理,并用Duncan氏新复极差法检验差异性。

2 结果与分析

2.1 羽化行为

栎黄枯叶蛾幼虫刚化蛹时呈淡黄色,随后体色逐渐加深,在羽化前变为黄褐色至黑褐色。羽化前,蛹壳变薄,隐约可见蛹体,此时蛹在茧内不断收缩扭动腹部,用头部顶破蛹壳,经1~2 min左右沿胸部背中线完全开裂,成虫头胸部先露出蛹壳,然后继续扭动体躯,经3~4 min腹部完全露出。成虫脱出蛹壳后,迅速从茧中爬出。初羽化的成虫双翅潮湿柔软,折叠皱缩于翅基,整个腹部外露,触角向外伸开。这时成虫会四处爬行,寻找较高处,以利于翅的伸展。如果不能爬到高处,翅会变形无法展开。成虫悬在高处后,雄蛾大约在5 min后翅缓缓展开,类似蝴蝶直立于体背上,40~50 min后水平下落,呈屋脊状合拢于体背;雌蛾大约5~10 min后似蝶类样展开,70~80 min后双翅合拢成屋脊状,至此羽化完成(图1)。刚羽化完

成的成虫还需要静伏 2 ~ 4 h 后才开始慢慢活动,其间雌蛾会从尾部流出红褐色的液体,雄蛾会流出乳白色液体。成虫具有趋光性,白天静伏不动,进入天黑(18:00)后开始飞翔。

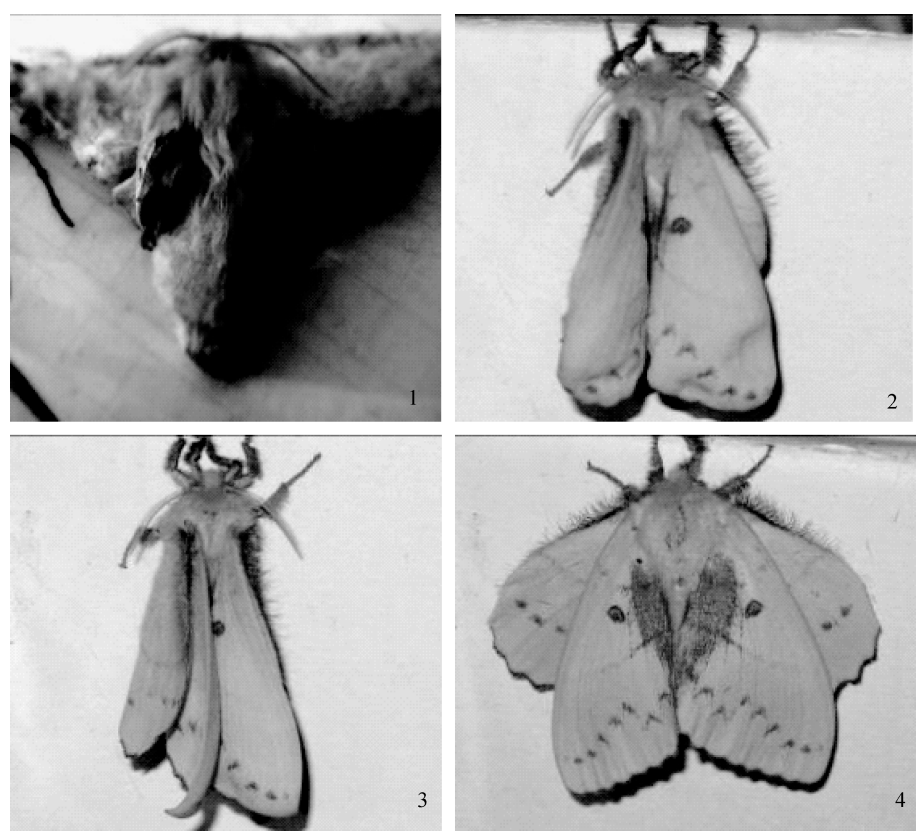


图 1 栎黄枯叶蛾羽化行为

Fig.1 Eclosion behaviour of *Trabala vishnou* gigantina

1. 羽化 1 min 后 1 min after starting eclosion;2. 羽化 5 min 后 5 min after starting eclosion;3. 羽化 10 min 后 10 min after starting eclosion;4. 羽化结束(70 ~ 80 min 后)ending eclosion(70 ~ 80 min after starting eclosion).

2.2 羽化时辰节律

室内饲养的栎黄枯叶蛾于 8 月 21 日开始羽化,至 9 月 30 日羽化结束,羽化期约 40 d,共羽化出成虫 754 头,羽化率为 69.94%。其中雌虫 313 头,雄虫 441 头,雌雄比为 1:1.41。成虫羽化高峰期在 9 月上旬,8 月 30 日至 9 月 15 日期间成虫羽化量占总统计量的 85.15% (图 2)。林间成虫羽化期与室内观察结果基本一致。从 24 h 内的羽化节律来看,其羽化行为全天可见,17:00—23:00 比较集中,此时段内的羽化数占整日羽化数的 82.46%。其中在 19:00—21:00 最为集中,羽化数占单日总羽化量的 75.6%,与其他时段相比差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。另外,从图 2 可看出,栎黄枯叶蛾雄蛾比雌蛾羽化要早,根据本文介绍的公式计算,雄蛾要比雌蛾早羽化 1.08 d。

2.3 交配行为

栎黄枯叶蛾成虫在光期大多静伏于茧或枝条上。进入暗期后,才可观察到求偶行为。雌蛾开始求偶时,触角前伸,缓慢向上爬行,找到合适位置后,抬高腹部,产卵器外露,此时翅也开始以一定频率高速振动,释放性信息素。雄蛾交配前,先缓慢四处爬行,触角由贴身平伏变为举起摆动,翅也伸展开始轻微扇动。随后振翅频率加快,开始四处扑飞,寻找合适的配偶。最后飞到某个雌蛾附近停落,围着雌蛾打转,在其周围振翅、爬行,并用身体各部位触动雌蛾,寻找最佳位置进行交配。

大部分雌蛾在雄蛾到来后只能被动地移动身体,只有少部分雌雄蛾之间会相互追逐飞行。交配时雌雄尾部交合,成 180°角,呈静止状态。

栎黄枯叶蛾雌雄蛾成虫中均存在始终不进行

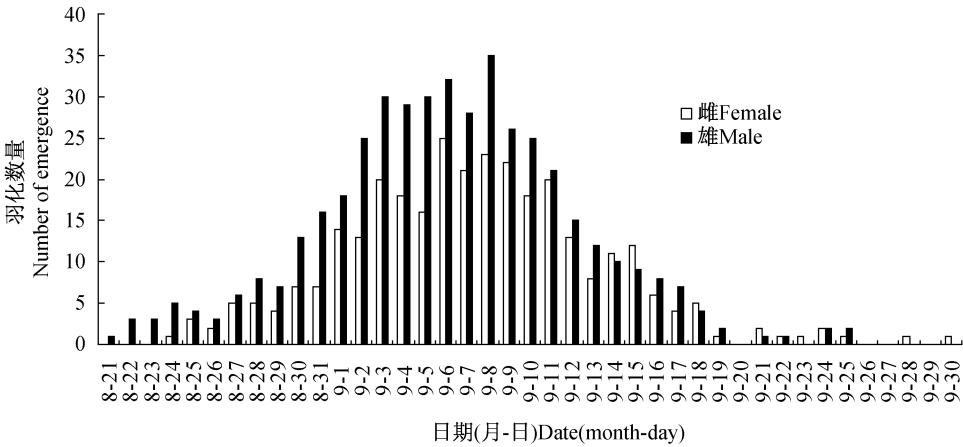


图2 室内栎黄枯叶蛾成虫羽化节律

Fig.2 Daily emergence rhythm of *Trabala vishnou gigantina* adults in the laboratory

交配的现象。观察发现,栎黄枯叶蛾雄蛾有多次交配现象,而雌蛾只交配 1 次。雄蛾与雌蛾交配一次后,不会与同一只雌蛾进行第 2 次交配。而且随着雌蛾比例的加大,雄蛾交配次数也会增加。

栎黄枯叶蛾交配历时较长,一般会从当天晚上持续到次日傍晚。交配时间最长可达 20 h,最短 5 h,以交配持续 14 ~ 16 h 者居多。交配时雌雄虫均静止不动,此时若人为干扰,会马上结束结尾

行为。交尾结束后,雄蛾先飞离交尾场所,而雌蛾则四处爬动,寻找合适的场所以便产卵。

2.4 交配时辰节律

不同日龄下成虫交配百分率和交配高峰期见表 1。观察结果表明,日龄对栎黄枯叶蛾成虫的交配活动有着明显的影响。羽化成虫当天不能交配,于 2 日龄才可交配,说明羽化雌蛾达到性成熟需要一定时间。交配行为在羽化后第 2 天表现最

表1 栎黄枯叶蛾雌蛾交配率和交配高峰期

Table 1 Mating percentages and mating peak period of adult females of *Trabala vishnou gigantina*

日龄 Age(d)	交配高峰期 Peak period of mating	交配百分率 Percentage of mating(%)	高峰期交配率占当日交配比率 Ratio of mating peak period to whole mating percentages(%)
1	—	0	0
2	3:22 ± 0.28 Aa	45.6 ± 1.45Aa	92.5
3	3:26 ± 0.25 Aa	36.3 ± 1.03Bb	93.2
4	3:35 ± 0.33 Aa	31.8 ± 0.85BCb	91.6
5	3:42 ± 0.45 Aa	11.6 ± 0.45CDc	90.1
6	3:49 ± 0.32 Aa	5.2 ± 0.29Dc	95.8
7	—	0	0

注:采用 Duncan 氏新复极差检验法。表中数据为平均值 ± 标准差。同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。

The data in the table are mean ± SD. Data within a column followed by different small letters are significantly different at 0.05 level, while those with different capital letters are extremely significantly different at 0.01 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

为强烈,交配率高达 45.6%,从 3 日龄开始,交配率逐渐降低,到第 6 天仅为 5.2%,此后就不再进行交配。栎黄枯叶蛾成虫交配活动发生在凌晨 1:00—5:00,以凌晨 3:00—4:00 为交配高峰期,在交配高峰期,交配率占当日交配的 90% 以上。随着日龄的增加交配高峰期略有推迟。

2.5 产卵行为

雌蛾经过交配后,可立即开始产卵,产卵场所多选择在交配场所附近适宜位置。室内观察,雌蛾多产卵于纱网棱角处或支架上;林间调查,雌蛾多产卵于茧表面、树枝分叉处等地。产卵时,雌蛾腹部稍弯曲,双翅高频振动,产卵器伸直,将卵双

行相间逐粒产下,同时卵上会覆盖雌蛾尾部黄褐色长毛,状似“毛虫”。雌蛾产卵后,大部分个体原地停留,少部分个体立即飞离。

无论交配与否,雌蛾都能产卵。表 2 为已交配雌蛾和未交配雌蛾的产卵量和孵化率。从表 2 可看出,经过交配后雌蛾的平均产卵量为 297 粒,略大于未交配雌蛾的 291 粒,可能交配行为会促进产卵。两类卵的孵化率区别明显,已交配雌蛾所产卵孵化率为 82.5%,未交配雌蛾产卵为无效卵,说明栎黄枯叶蛾是通过雌雄交配繁衍后代,并且繁殖量比较大,不存在孤雌生殖现象。

表 2 雌蛾的产卵量和孵化率
Table 2 The egg numbers and egg hatch rate of adult females *Trabala vishnou gigantina*

处理 Treatment	雌蛾数 Number of female	产卵量(粒) Fecundity)	孵化率(%) Egg fertility
未交配雌蛾 Virgin female	20	291.3 ± 33.4 ABa	0.0 ± 0.0Bb
已交配雌蛾 Mated female	20	297.9 ± 23.4 Aa	82.5 ± 3.4Aa

2.6 产卵节律

栎黄枯叶蛾产卵主要发生在夜间(图 3),产卵高峰期在 2:00—6:00,产卵量占全天的

82.40%。白天偶尔也会产卵,约占全天产卵量的 7.62%。

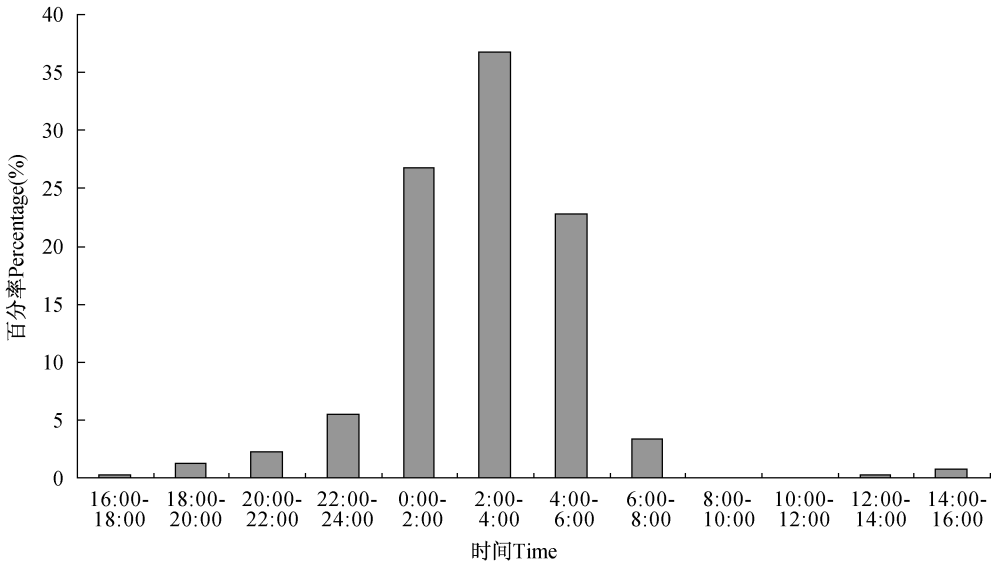


图 3 不同时间段栎黄枯叶蛾产卵情况
Fig. 3 Oviposition of *Trabala vishnou gigantina* during different time periods

2.7 成虫寿命

成虫寿命统计结果见表 3,在未交配情况下雌蛾平均寿命为 11.05 d,最长 13 d;未交配雄蛾平均寿命为 9.85 d,最长 12 d。未交配成虫寿命与

已交配成虫寿命比较,差异显著($P < 0.01$)。已交配雌蛾平均寿命为 8.05 d,已交配雄蛾平均寿命为 7.35 d。交配使雌雄蛾寿命均变短,说明成虫的活动主要是完成生殖任务。

表 3 不同处理成虫的寿命
Table 3 The lifespan of the adults under different treatments

处理 Treatment	观察头数 Numbers of observed	最长寿命 Maximum lifespan (d)	最短寿命 Minimum lifespan (d)	平均寿命 Mean of lifespan (d)
未交配 ♀ Virgin female	20	13	9	11.05 ± 1.43Aa
未交配 ♂ Virgin male	20	12	6	9.85 ± 1.73Ab
已交配 ♀ Mated female	20	10	6	8.05 ± 1.43Bc
已交配 ♂ Mated male	20	9	6	7.35 ± 1.09Bc

3 讨论

栎黄枯叶蛾成虫发生期为 7 中下旬至 9 月末,羽化高峰期出现在 9 月上旬,羽化比较集中,这对于开展成虫防治,特别是利用性信息素防治较为有利。同时笔者也观察到,栎黄枯叶蛾存在雄蛾先羽化现象,雄蛾比雌蛾早出现 1.08 d,茶毛虫 *Euproctis pseudoconsersa* (王永模等,2003),二化螟 *Chilo suppressalis* (肖丹凤和胡阳,2010)等昆虫也有这种现象发生。由于性诱剂只针对雄蛾进行诱捕,因此利用雄性先熟现象可以更好的指导性诱剂的田间运用和设置,提高诱集率和诱集数量。蛾类羽化时间受温度和光周期影响较大(孙丽娟等,2002;马建军等,2010),下一步可就这两种因素对栎黄枯叶蛾羽化的影响进行研究,以便掌握该虫的最佳防治时间。

Pope 等(1984)指出昆虫的求偶交尾和性信息素产生与释放节律相一致。本试验表明栎黄枯叶蛾求偶交尾行为大部分发生在凌晨,交配高峰期为凌晨 3:00—4:00,这与很多鳞翅目昆虫交配节律表现相似(Giebuttowicz *et al.*, 1991),这对于人工提取栎黄枯叶蛾性信息素和利用性信息素干扰交配技术进行防治具有指导作用。栎黄枯叶蛾羽化成虫当天不能交配,于 2 日龄才可交配,并且在 2 日龄就可达到最高峰,此后交配率逐渐下降,这说明雌蛾的交配行为与蛾龄是密切相关的。本实验发现,雌蛾一生最多只能交配 1 次,这与很多蛾类昆虫如蜀柏毒蛾 *Parocneria orientalis* Chao(张坤胜

等,2010)、甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* (蒋智林等,2009)、水稻二化螟 *Chilo suppressalis* (焦晓国等,2006)等研究结果相似,原因可能是雄蛾在交配过程中将来源于性附腺等组织的交配因子传输给雌蛾,抑制了雌蛾性信息素的产生,造成雌蛾不再求偶和交配(Foster,1993)。蛾类昆虫的求偶交配行为是昆虫对环境长期适应和进化的结果,这不仅是由内在生理因素的决定,更重要的是会受到诸如种群密度、空间类型、性比、温度、湿度、光周期等因素的影响(McNeil,1991;韩桂彪等,2000;张金桐和孟宪佐,2001),有关环境条件对求偶交配行为的影响还需进一步研究。

本试验中,野外观察和室内饲养观察结果基本一致,只是室内饲养成虫中有一部分始终不交配,究其原因,可能是养虫笼空间比较狭小,或者室内温度、湿度等条件不太适合。

根据孟宪佐(1997)的研究,用性诱剂进行大量诱捕的防治效果与害虫的生殖特点有密切的关系,在成虫期利用性诱剂对雄蛾加以诱集,降低羽化雌蛾的交配率,使其不能够产生下一代,达到控制其危害的目的,而栎黄枯叶蛾的羽化、求偶交配、产卵和寿命的特点,均符合利用性信息素防治害虫的基本要求,对生产实践无疑具有特别重要的意义。

参考文献 (References)

Foster SP, 1993. Neural inactivation of sex pheromone

- production in mated lightbrown apple moths, *Epiphyas postvittana*(Walker). *J. Insect Physiol.*, 39(3):267 – 273.
- Giebutowicz JM, Raina AK, Uebel EC, Ridgway RL, 1991. Two-step regulation of sex pheromone decline in the mated gypsy moth females. *J. Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 16(2):95 – 105.
- McNeil JN, 1991. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.*, 36(1):407 – 430.
- Pope MM, Gaston LK, Baker TC, 1984. Composition, quantification and periodicity of sex pheromone volatiles from individual *Heliothis zea* females. *J. Insect Physiol.*, 30(12):943 – 945.
- 韩桂彪, 杜家伟, 李捷, 2000. 枣粘虫交配行为生态学研究. *应用生态学报*, 11(1):99 – 102.
- 蒋智林, 文礼章, 李有志, 李正跃, 2009. 甘薯天蛾的交配行为及其影响因素. *生态学杂志*, 28(4):688 – 691.
- 焦晓国, 宣维健, 盛承发, 2006. 水稻二化螟的交配行为. *生态学报*, 26(4):1110 – 1116.
- 刘友樵, 武春生, 2006. 中国动物志. 北京:科学出版社. 338 – 339.
- 马建军, 姚虹, 齐志利, 2010. 春尺蠖越冬蛹羽化特性及幼虫空间分布研究. *中国森林病虫*, 29(1):10 – 12.
- 孟宪佐, 1997. 昆虫性信息素的应用. *生物学通报*, 32(3):46 – 47.
- 孙丽娟, 戴华国, 衣维贤, 陆永钦, 2002. 二化螟水稻类群与茭白类群成虫羽化节律和交配节律研究. *昆虫知识*, 39(6):421 – 423.
- 同长寿, 1966. 栎黄枯叶蛾的生活习性与防治初步研究. *昆虫知识*, 10(2):96 – 97.
- 王永模, 戈峰, 刘向辉, 冯峰, 王利军, 2003. 茶毛虫成虫的行为习性观察. *昆虫知识*, 40(4):343 – 345.
- 肖丹凤, 胡阳, 2010. 二化螟成虫雄性先羽化现象. *昆虫知识*, 47(4):736 – 739.
- 萧刚柔, 1992. 中国森林昆虫(第2版). 北京:中国林业出版社. 981 – 983.
- 张金桐, 孟宪佐, 2001. 小木蠹蛾性行为 and 性信息素产生与释放的时辰节律. *昆虫学报*, 43(3):319 – 321.
- 张坤胜, 杨伟, 卓志航, 邓忠彬, 杨春平, 杨桦, 周建华, 肖银波, 贾玉珍, 2012. 蜀柏毒蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. *昆虫学报*, 55(1):46 – 54.