DOI: 10.5846/stxb201405030874
郑海霞, 张金桐, 宗世祥, 郭淑英, 刘红霞, 刘金龙, 杨美红.褛裳夜蛾的交配行为及雄蛾对性腺提取物的反应节律.生态学报,2015,35(9):3060-3066.
Zheng H X, Zhang J T, Zong S X, Guo S Y, Liu H X, Liu J L, Yang M H.Mating behavior and dynamic rhythm of male response to crude extracts of sex pheromones from females *Catocala remissa* staudinger.Acta Ecologica Sinica,2015,35(9):3060-3066.

褛裳夜蛾的交配行为及雄蛾对性腺提取物的反应节律

郑海霞[1,2], 张金桐[2,*], 宗世祥[3], 郭淑英[4], 刘红霞[2], 刘金龙[2], 杨美红[2]
1 山西农业大学农学院, 太谷　030801
2 山西农业大学化学生态研究所, 太谷　030801
3 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京　100083
4 内蒙古额济纳旗森林病虫害防治检验站, 额济纳　735400

摘要:详细观察了褛裳夜蛾成虫的交配行为,利用风洞、触角电位技术研究了雄蛾对性腺提取物的反应节律,通过林间诱蛾试验进行了验证,旨在为褛裳夜蛾性信息素的精确提取及性信息素组份分离、鉴定提供依据。研究结果表明:成虫的求偶、交配行为均发生在暗期,有一定的节律性:雌蛾在羽化 3d 以后开始求偶,1 周左右表现最为强烈,3—4 日龄雌蛾在暗期 4—6h 开始求偶,最大求偶率在暗期 6—8h;5—9 日龄在进入暗期就开始求偶,最大求偶率出现在暗期 4—6h。风洞试验表明,3—7 日龄的雄蛾对性腺提取物均有明显的性行为反应,5 日龄雄蛾在暗期 4—6h 对性腺提取物的反应最为强烈。3—6 日龄的成虫在暗期 4—6h 开始交配,而 7—8 日龄的成虫于暗期 2—4h 开始交配,6 日龄的成虫交配率最高,交配高峰在暗期 4—8h。雄蛾对性腺提取物的触角电位反应也有一定的节律性:雄蛾对 4 日龄雌蛾性腺提取物开始有电生理反应,对 6—7 日龄暗期 5h 性腺提取物反应最为强烈。林间诱蛾试验测定了性腺提取物的引诱活性,7 日龄雌蛾性腺提取物林间诱蛾量最高,引诱高峰在暗期 4—6h,该结果也验证了褛裳夜蛾雄蛾对性腺提取物的反应节律。

关键词:褛裳夜蛾; 交配行为; 性腺提取物; 节律

Mating behavior and dynamic rhythm of male response to crude extracts of sex pheromones from females *Catocala remissa* staudinger

ZHENG Haixia[1,2], ZHANG Jintong[2,*], ZONG Shixiang[3], GUO Shuying[4], LIU Hongxia[2], LIU Jinlong[2], YANG Meihong[2]
1 *Agronomy College*, *Shanxi Agricultural University*, *Taigu* 030801, *China*
2 *Institute of Chemical Ecology*, *Shanxi Agricultural University*, *Taigu* 030801, *China*
3 *The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*
4 *Ejina Forest Pest Control and Quarantine Station*, *Ejina* 735400, *China*

Abstract: In China, *Populus euphratica* forests are not only important for maintaining the ecological balance in Ejina but are also a major tourist attraction. *Catocala remissa* Staudinger (Lepidoptera Noctuidae) is a defoliator of *P. euphratica*. In recent years, this insect has been one of the most serious forestry pests in Ejina, Inner Mongolia, China. Currently, chemical insecticides are the only means of control. However, this approach has led to the development of pesticide resistance, which has severe negative impacts on human health and the environment. In order to develop an efficient and pollution-free method of control, we have initiated a series of studies on pest sex pheromones. It is essential to know the mating behavior characteristics and responses of the male to female sex gland extracts. It will provide a basis for extraction, separation, and identification of the sex pheromone. However, studies on sex pheromone-related behavior in *C. remissa* are

基金项目:国家"十二五"科技支撑计划项目(2012BAD19B07)
收稿日期:2013-05-03;　　**网络出版日期**:2014-10-13
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhangjintong@126.com

yet to be conducted. This study investigates the calling and mating behavior of moths in insect rearing cages under natural conditions in the woods. The responses of the male to female sex gland extracts were studied using an electroantennogram (EAG), wind tunnels, and field tests. Crude extracts of the sex pheromone were prepared by direct extraction of the pheromone from female sexual glands using hexane. The courtship behavior was observed in the dark period and was rhythmic. The females called three days after emergence, and the calling peaked one week later. The calling peak varied with the age of the female and the scotophase time. Females aged 3—4 days called on the 4—6h into the scotophase, with a peak at 6—8 h. Females aged 5—7 days called at the beginning of the scotophase, with a peak at 4—6 h. Responses of males aged 1—10 days to the pheromone extract were monitored using a wind tunnel. Males, aged 3—7 days, showed a significant response to the sex gland extracts. Peak activity was observed in 5-day-old males and at 4—6 h into the scotophase. The mating ability of the moths was examined. Moths aged 3—4 days and 7—8 days exhibited mating behavior 4—6 h and 2—4 h into the scotophase, respectively. Peak mating behavior was observed in 6-day-old and moths 4—8 h into the scotophase. Responses of the male to female sex gland extracts varied with the age of the female and time into the scotophase and were rhythmic. A response was observed to 4-day-old female sex gland extracts, and the response was the highest to extracts of 7-day-old females; this response was significantly higher than those of other aged females ($P < 0.05$). The response increased with an increase in the scotophase time, peaking at 5 h into the scotophase. After peaking, the response of the male to female sex gland extracts decreased. Extracts were prepared from females aged 1—10 day to determine the attraction in field trapping tests. The results showed that males were attracted to female sex gland extracts, with a peak at 4—6 h in 7-day-old females. The field trapping test results confirmed that the mating behavior and responses to female sex gland extracts were rhythmic. Therefore, this study enhances our understanding of the chemical communication during the reproductive process and the importance of pheromones in detecting and monitoring this pest in fields.

Key Words: *Catocala remissa* Staudinger; mating; sex gland extracts; dynamic rhythm

褛裳夜蛾(*Catocala remissa* Staudinger)属鳞翅目(Lepidoptera),夜蛾科(Noctuidae),裳夜蛾属(Catocala),分布于中亚地区[1],在我国主要分布在内蒙古、新疆等地区。该虫一年一代,以卵越冬,翌年 4 月中旬开始孵化,以幼虫取食嫩芽与嫩叶为害,严重时枝条无法放叶,树势衰弱甚至死亡[2]。关于褛裳夜蛾的研究以往仅集中在生物学特性及化学防治方面,而化学防治虽然取得了一定的效果,但是会造成天敌杀伤、害虫抗性及环境污染等一系列问题。近年来,基于昆虫性信息素在害虫综合治理方面的应用潜力,国内外许多学者对昆虫的交配行为及性信息素相关的内容进行了研究[3-9]。褛裳夜蛾在此方面的研究还少有报道,本文详细观察了褛裳夜蛾成虫交配行为,并且利用风洞、触角电位研究了雄蛾对性腺体提取物的反应节律,通过田间诱蛾试验进行了验证,这些研究为下一步对褛裳夜蛾性信息素的精确提取及性信息素组分分离、鉴定提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

2013 年 6 月在内蒙古额济纳旗达来呼布镇的红光水闸附近的胡杨林采集褛裳夜蛾蛹。根据蛹的特点分离雌、雄蛹,分别将蛹置于养虫笼(60cm ×60cm × 70cm)。待羽化后按虫龄 (1 日龄是指从羽化开始直到首个光期结束) 分别置于养虫笼(60cm × 60cm × 70cm), 喂以 10% 蜂蜜水。将所有的养虫纱笼均置于林间(光周期 L∶D =14∶10, 温度 19—32℃,相对湿度 70%—85%)。

1.2　褛裳夜蛾性腺提取物的制备

在雌蛾求偶期间, 选择处女雌蛾, 用手轻轻挤压雌蛾腹部, 用眼科剪将外露的性信息素腺体剪下, 去除脂肪及附属物;将性信息素腺体置于 2mL 的尖底玻璃管中,用 500μL 正己烷(色谱纯级)提取 40 min, 将提取液进行浓缩, 并转移到一洁净样品管中,-20℃ 保存待用。

1.3　褛裳夜蛾的交配行为观察

1.3.1　雌蛾求偶行为

将 20 头刚羽化同日龄雌蛾置于自然条件下的养虫室内,笼中放入新鲜的胡杨树枝,悬挂一蘸有 10%蜂蜜

水的棉球。每日更换新鲜树枝与棉球,观察记录其求偶行为(据预实验观察,褛裳夜蛾求偶与交配均在暗期,故只在暗期观察和记录雌蛾求偶情况)。每隔 30min 观察 1 次,连续观察 10d,试验重复 3 次。判断雌蛾是否求偶的标准是雌蛾腹部上扬,且持续伸出产卵器。

1.3.2 雄蛾对性腺提取物的风洞试验

试验所用的风洞是由有机玻璃制成,呈拱门式, 长 195 cm, 宽 60 cm, 高 60 cm。为了得纯净的气流,在上风源设有空气过滤器,进入风洞的气流(电风扇吹入)速度为 0. 5 m/ s,保持通风 15 min 后再进行试验。试验中暗期采用红色光源,光强度在 0.5 lx。风洞内温度(28±1)℃, 湿度(70±1)% RH。

按照 1.2 方法提取腺体,将 10μL 0.5FE/μL 性腺体粗提物(FE 表示雌当量)滴到 $1cm^2$的滤纸上,正己烷作为对照。将溶剂挥发后的滤纸置于上风口,用铁网将诱芯罩住。测试时,在风洞的下风口置物架上有一纱笼,内依次放入 1—10 日龄的测试雄蛾,每头雄蛾只使用 1 次。试验重复 3 次,共计 150 头雄蛾。记录下列行为反应的雄蛾数量:(1)兴奋、起飞;(2)定向飞行;(3)降落并接近诱芯;(4)试图交配。

1.3.3 交配行为观察

将同一天羽化的成虫,挑取健康的雌雄虫进行配对,准备 20 对放入同一纱笼中(50cm × 50cm × 60cm),笼中放入新鲜的胡杨树枝,悬挂一蘸有 10%蜂蜜水的棉球。每日更换新鲜树枝与棉球,在自然条件下用红布包裹手电筒观察交配行为,由前期试验结果可知,褛裳夜蛾成虫在光期不交配,故观察时间选择在 20:00—06:00。在此期间,详细记录褛裳夜蛾每对成虫交配始末的时间。设 3 个重复,共计 60 对,进行统计分析。

1.4 褛裳夜蛾雄蛾对雌蛾性腺提取物的反应节律测定

1.4.1 触角电位 EAG

测试触角选用的测定仪购自 Syntch 公司,试验时,连续气流量为 400mL /min, 刺激气体流量为 120 mL/min, 刺激时间为 0. 5 s, 刺激间隔 30— 60 s。

根据上述 1.3.2 方法测试结果,选取 5 日龄未交配的雄蛾进行测试。将雄蛾触角从基部切下,用生理盐水将其两端浸润,用导电胶将其与参比电极和记录电极相连。用微量注射器吸取一定量测试液滴在滤纸上(2 cm × 0.5 cm),待溶剂挥发后将滤纸放入 1mL 移液枪头内,枪头两端分别连接空气脉冲输出管与连续空气输出管,且开始运行记录程序,触角对刺激物气流的反应被记录在电脑上。在每测定一个样品前后, 都应该进行空白测定, 20μL 标准正己烷溶液为空白对照。测定时,每一种不同浓度的处理选择 5 根雄蛾触角进行试验,每根触角测定 3 次, 取平均值。

1.4.2 褛裳夜蛾雄蛾对不同浓度的雌蛾性腺粗提物反应曲线的测定

选择处于召唤状态的 6 日龄处女雌蛾进行腺体提取(参照方法 1.2),分别配制 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001 FE/20μL 的性腺粗提物的浓缩溶液,采用 1.4.1 方法进行 EAG 测定。每个处理所用的样品剂量为 20μL。

1.4.3 褛裳夜蛾雄蛾对不同日龄雌蛾的性腺粗提物的 EAG 反应

挑取未交配的 1—10 日龄雌蛾各 5 头在进入暗期开始召唤时进行腺体提取,并浓缩至 0.25 FE/μL,以标准的正己烷溶液为对照进行触角电位反应。试验重复 3 次。

1.4.4 褛裳夜蛾雄蛾对不同时辰性腺提取物的 EAG 反应

在暗期每隔 1h 进行 1 次腺体提取,每次提取用 5 头 6 日龄处女雌蛾,将提取液浓缩至浓度为 0.25 FE/μL,以标准的正己烷溶液为对照进行触角电位反应。试验重复 3 次。

1.5 林间诱蛾试验

林间试验地位于内蒙古额济纳旗的胡杨林区。采用三角形诱捕器,材料为白色塑料中空板,底部涂有粘虫胶。将 1—10 日龄处女雌蛾性腺提取物(0.02 FE/μL)制成诱芯,以 500μL 正己烷的诱芯为对照,将其置于诱捕器上。诱捕器悬挂在受害的胡杨树枝上,距地面 2—3m,每个诱捕器之间的距离至少为 80m。每 2h 观察 1 次,记录每次观察的诱蛾数量。试验重复 3 次。

1.6　数据分析

数据采用 SPSS19. 0 统计软件对数据进行分析处理。

2　结果与分析

2.1　褛裳夜蛾的交配行为及动态节律

2.1.1　褛裳夜蛾的交配行为

林间自然条件下褛裳夜蛾于暗期进行求偶和交配活动。求偶时,雌蛾腹部末端上扬,同时露出黄褐色的产卵器及腺体,与身体呈 45°角左右,如果没有交尾或者无其它干扰,此种状态可保持 20—40 min。在雌蛾求偶的同时,雄蛾在其周围活动,高度兴奋,抱握器张开并伸向雌蛾腹部末端进行交配,交配姿势多样,但主要是呈“一”字型,交配时间 30—60 min。雌雄成虫交配时安静不动,即便有人为干扰甚至有强光照射也不会影响其交配行为。交尾结束后,雌雄分离,过段时间后,开始活动或取食或飞行或爬行。

2.1.2　雌蛾求偶的动态节律

雌蛾的不同日龄对其求偶率的影响如图 1 所示,雌蛾在羽化后第 3 天开始有求偶行为, 7 日龄雌蛾求偶率最高,达到 47.78%,8 日龄求偶率明显下降,到 9 日龄仅有 5.56%的雌蛾出现求偶行为;褛裳夜蛾的求偶率不仅受到日龄的影响,而且在同一天内不同时辰求偶率也不一致(表 1):雌蛾求偶行为仅在暗期进行,3—4 日龄雌蛾在暗期 4—6h 开始求偶,最大求偶率在暗期 6—8h;5—7 日龄雌蛾在暗期开始求偶,最大求偶率出现在暗期 4—6h;8—9 日龄在暗期 2—4h 开始求偶,最大求偶率在暗期 4—6h。由图 2 可知,雌蛾召唤所持续的时间受日龄影响很大,7 日龄召唤时间最短,显著低于其他日龄。

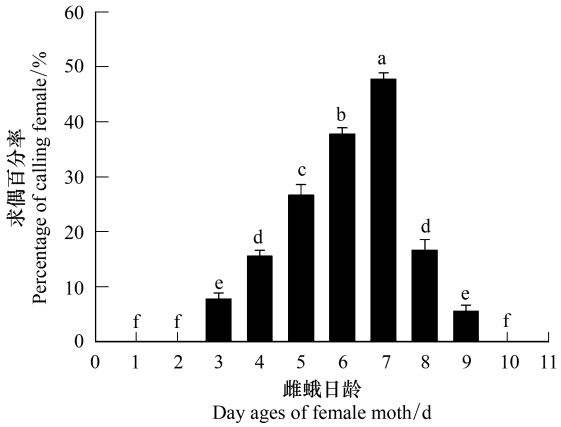

图 1　日龄影响下雌蛾的求偶率

Fig.1　Effects of age on the percentage of calling female

柱上方不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

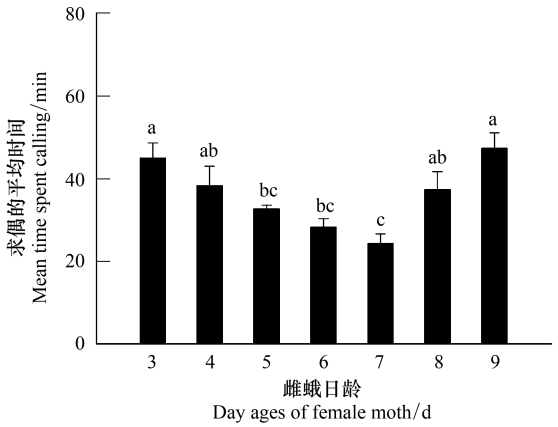

图 2　日龄影响下雌蛾的求偶时间

Fig.2　Effects of age on the time spent calling

表 1　不同日龄不同时辰雌蛾求偶百分率

Table 1　Effects of age and time on the percentage of calling female

暗期 Scotophase	求偶百分率 Percentage of calling female/%						
	3 日龄 3-day old	4 日龄 4-day old	5 日龄 5-day old	6 日龄 6-day old	7 日龄 7-day old	8 日龄 8-day old	9 日龄 9-day old
D 0—2	0.00±0.00b	0.00±0.00c	1.67±1.67b	3.33±1.67cd	6.67±1.67bc	0.00±0.00b	0.00±0.00b
D 2—4	0.00±0.00b	1.67±1.67bc	6.67±1.67b	5.00±0.00c	13.33±4.40b	5.00±2.89a	3.33±1.67a
D 4—6	1.67±1.67b	6.67±1.67ab	18.33±1.67a	21.67±1.67a	28.33±1.67a	6.67±1.67a	3.33±1.67a
D 6—8	6.67±1.67a	11.67±1.67a	6.67±3.33b	13.33±1.67b	13.33±7.26b	0.00±0.00b	0.00±0.00b
D 8—L	3.33±1.67ab	3.33±3.33bc	6.67±3.33b	0.00±0.00d	0.00±0.00c	0.00±0.00b	0.00±0.00b

数值表示雌蛾求偶率的平均值±标准误,同一列中标记的不同字母代表差异显著($P < 0.05$);D 0—2:暗期 0—2h;D 2—4: 暗期 2—4h;D 4—6:暗期 4—6h;D 6—8:暗期 6—8h;D 8—10:暗期 8—10h;D 10—L:暗期 10h—光期

2.1.3 雄蛾对性腺体粗提物的行为反应

风洞试验表明,3—7 日龄的雄蛾对性腺提取物均有明显的性行为反应,具体表现为起飞、定向飞行、靠近诱芯、振翅、兴奋、撒开味刷且试图交尾,其中 5 日龄雄蛾性行为反应最为强烈;其他日龄的雄蛾对性腺提取物的行为仅表现为起飞、定向飞行、靠近诱芯,但是并不试图交尾(图 3)。此外 5 日龄雄蛾在暗期的不同时间对性腺提取物的行为反应也有差异,在进入暗期 2—4h 开始有试图交尾的性行为,高峰出现在暗期的 4—6h,以后随着时间的延长性行为减弱至消失(图 4)。

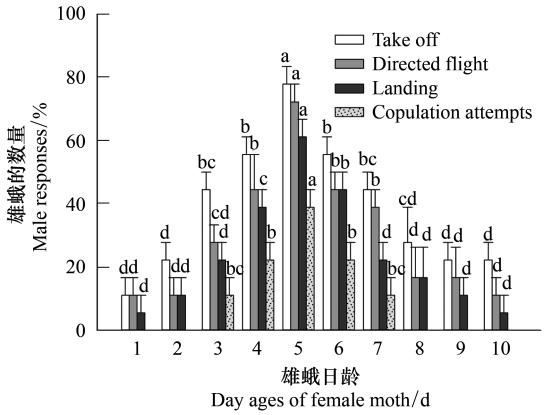

图 3 日龄影响下雄蛾对性腺提取物的行为反应

Fig.3 Effects of age on male responses to gland crude extract of females

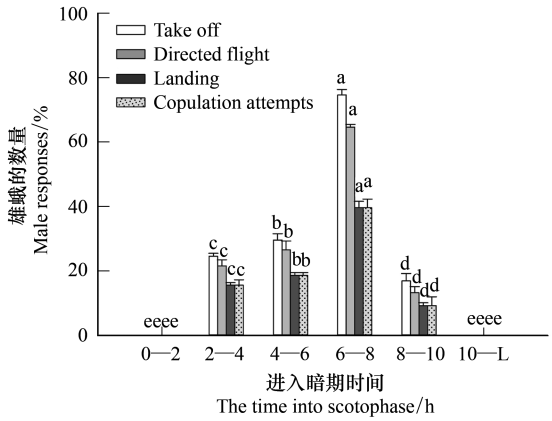

图 4 暗期时间影响下雄蛾对性腺提取物的行为反应

Fig.4 Effects of time in scotophase on male responses to gland crude extract of females

2.1.4 交配的动态节律

在自然条件下的养虫笼内,褛裳夜蛾交配均发生在暗期。3—6 日龄的成虫在进入暗期 4—6h 开始交配,而 7—8 日龄的成虫于暗期 2—4h 开始交配。交配百分率随着日龄的不同表现出极大差异,交配百分率最高为 6 日龄成虫,达 46.67%,显著高于其他日龄(图 5)。交配的最短持续时间 21.67min,最长为 59min,平均时间为(40.7±1.45) min(n=60)。9 日龄以后不再具有交尾能力,有些成虫已经死亡。

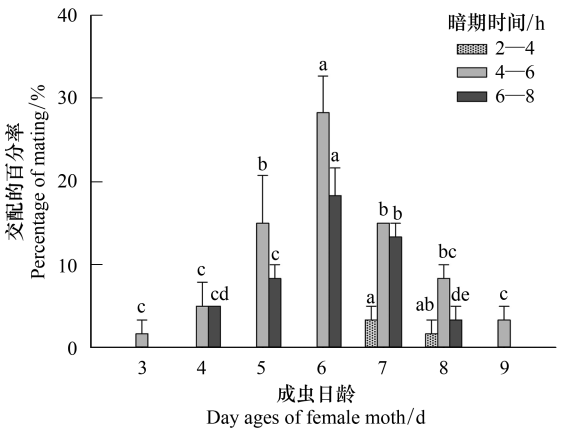

图 5 日龄与暗期时间影响下褛裳夜蛾的交配率

Fig.5 Effects of age and time on copulation

2.2 褛裳夜蛾雄蛾对性腺提取物的反应节律

2.2.1 雄蛾对不同浓度性腺提取物的 EAG 反应

在不同浓度粗提物的刺激下,雄蛾有不同程度的反应(图 6),能产生触角电位的起始浓度为 10^{-4} FE/20μL,但反应值很小;在浓度 10^{-1}—1 FE/20μL 之间触角电位反应较强,当浓度大于 1 FE/20μL 时,触角电位反应值变化趋于不变,所以后续的触角电位试验选用 1 FE/20μL 作为标准刺激浓度。

2.2.2 雄蛾对不同日龄雌蛾性腺提取物的 EAG 反应

由图 7 可知,雄蛾对 4 日龄处女雌蛾性腺体提取物开始有电生理反应,对 6—7 日龄雌蛾反应最为强烈,与其他日龄有显著差异(P<0.05)。

2.2.3 雄蛾对 6 日龄处女雌蛾不同时辰性腺体提取物的 EAG 反应

雄蛾对 6 日龄处女雌蛾不同时辰性腺体提取物的 EAG 反应测试结果如图 8 所示,在进入暗期有反应值但很低,3h 之后反应逐渐增加,5h 之后逐渐减弱,其中暗期 5h 的触角电位反应值最高,显著高于其他时辰(P<0.05)。

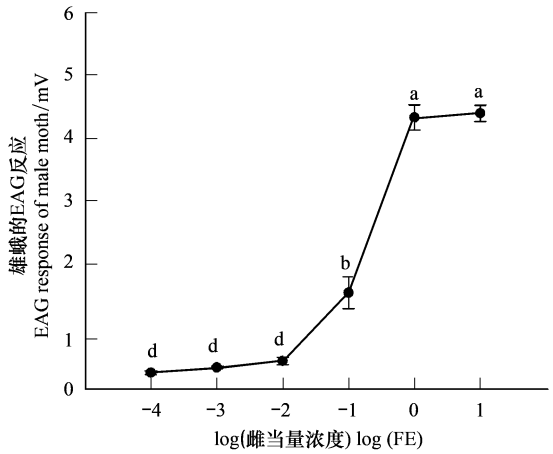

图 6　浓度影响下测试样品对雄蛾的刺激反应曲线

Fig.6　EAG response of male *C. remissa* to samples

折线图每一个点表示数据的平均值±标准误,数据点上方不同字母表示差异显著($P<0.05$);EAG:触角电位 electroantennogram

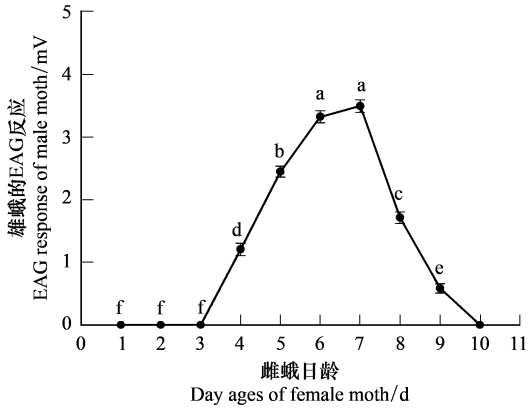

图 7　日龄影响下性腺粗提物对雄蛾的刺激反应曲线

Fig.7　EAG response of male *C. remissa* to samples of different ages

2.3　林间诱蛾试验

性腺提取物林间引诱雄蛾的试验结果(图 9)表明,不同日龄的褛裳夜蛾处女雌蛾性腺提取物在同一天中诱蛾量是不同的,7 日龄雌蛾性腺提取物诱蛾量最高,3 日龄与 9 日龄诱蛾活性最低,1 日龄、2 日龄与 10 日龄几乎没有诱蛾活性。在同一天不同时间段褛裳夜蛾雌蛾性腺提取物诱蛾数量也不同,3 日龄仅在暗期 4—6h 有较低的引诱活性;4—7 日龄从进入暗期 4h 开始有引诱活性,一直持续到暗期 8h,引诱高峰在暗期 4—6h;8 日龄是从暗期 2 开始有引诱活性,且持续到暗期 6h,引诱高峰在暗期 4—6h;9 日龄仅在暗期 2—4h 有较低的引诱活性。

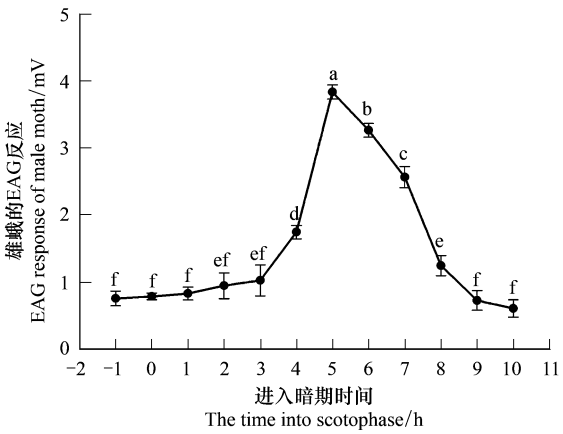

图 8　暗期时间影响下性腺粗提物对雄蛾的刺激反应曲线

Fig.8　EAG response of male *C. remissa* to samples of different time in the dark

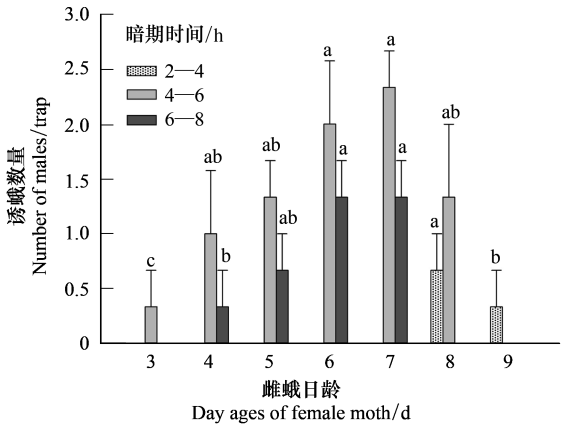

图 9　日龄与暗期时间影响下的性腺提取物对雄蛾诱蛾量的影响

Fig.9　Age and time in scotophase influence male attraction to gland crude extract-baited traps

3　讨论

本文在林间自然条件下观察了褛裳夜蛾雌蛾求偶、交配,同时结合风洞研究了雄蛾的性行为,结果表明褛裳夜蛾的性行为均发生在暗期且有明显的动态节律。

雌蛾在羽化第 3d 开始召唤求偶,但求偶率很低,求偶行为在羽化后的一周左右表现最为强烈,这与许多蛾类的求偶行为不一致,例如小地老虎、木蠹蛾、蜀柏毒蛾等在羽化早期其求偶率较高[6,7,9,10,11],此现象可能与蛾类不同种属间生理因素差异有关,因为求偶行为与昆虫本身体内性信息素有关,而性信息素的生物合成

最终是由性信息素合成激活肽(PBAN)进行调控的[12]。风洞试验表明,3—7 日龄的雄蛾对性腺提取物均有明显的性行为反应,其中 5 日龄雄蛾性行为反应最为强烈,而雌蛾是在 7 日龄求偶率最大,由此推断雄蛾性成熟的时间可能要早于雌蛾,这种早熟的现象可能具有某种特定的生物学与进化意义。一方面,早熟的雄蛾作为一种供给,雌蛾达到性成熟开始交配是一种需求,通过这种策略是为了提高整个种群的交配及繁殖成功率[13];另一方面,先达到性成熟的雄蛾在等待的过程中必然会有向四处迁飞的行为,从而可以有效的避免近亲繁殖带来的近交衰退[14]。

许多鳞翅目昆虫的求偶与性信息素的产生都是有一定的时辰节律的[5,7-8,10]。褛裳夜蛾雄蛾对雌蛾的性腺粗提物 EAG 反应可以看出雌蛾性信息素的产生具有明显的时辰节律,雌蛾在进入暗期就有性信息素的产生,但是 EAG 反应值很小,随着时间的延长,EAG 反应逐渐升高后又降低,在暗期 5h 达到最大值,与雌蛾求偶的时辰节律是一致的。而风洞试验表明雄蛾进入暗期 2—4h 开始有试图交尾的性行为,高峰出现在暗期的 4—6h,以后随着时间的延长性行为减弱至消失,雄蛾在暗期所表现出的性行为雌蛾性行为的时辰节律也是基本一致的。但本次试验不论是雄蛾对性腺体提取物的 EAG 电位值还是性腺体提取物的林间诱蛾活性均比较低,这可能是因为粗提物中有效成分比较少或者是提取性信息素的效率比较低。

综上所述,基于性信息素在害虫防治中的广泛应用,研究褛裳夜蛾的交配行为及性信息素的产生是一项重要内容,试验结果为下一步利用气相色谱-触角电位技术(GC-EAD)及气相色谱-质谱技术(GC-MS)鉴定褛裳夜蛾的性信息素提供了试验依据。另一方面,褛裳夜蛾的交配行为及其性信息素的产生是一种比较复杂的性行为,影响因素很多,本文仅分析了时间及虫龄对性行为的影响,在后续的工作中将需要进一步考虑温度、光周期等一些因子的影响。

参考文献(References):

[1] 陈一心. 中国动物志 昆虫纲(第 16 卷). 北京: 科学出版社, 1999: 991-992.

[2] 李玉春, 郭丽霞, 李晓华. 褛裳夜蛾生物学特性与防治研究. 内蒙古林业科技, 2010, 36(4): 59-61.

[3] Zarbin P H G, Lorini L M, Ambrogi B G, Vidal D M, Lima E R. Sex pheromone of *Lonomia obliqua*: daily rhythm of production, identification, and synthesis. Journal of Chemical Ecology, 2007, 33(3): 555-565.

[4] MazorM, Dunkelblum E. Circadian rhythms of sexual behavior and pheromone titers of two closely related moth species *Autographa gamma* and *Cornutiplusia circumflexa*. Journal of Chemical Ecology, 2005, 31(9): 2153-2168.

[5] Suganthi A, Chandrasekaran S, Regupathy A. Pheromone release behaviour of jasmine bud worm, *Hendecasis duplifascialis* Hampson (Pyraustidae: Lepidoptera). Journal of Entomology, 2006, 3(3): 236-240.

[6] Xiang Y Y, Yang M F, Li Z Z. Calling Behavior and Rhythms of Sex Pheromone Production in the Black Cutworm Moth in China. Journal of Insect Behavior, 2010, 23(1): 35-44.

[7] Liu H X, Zhao W M, Yang M H, Liu J L, Zhang J T. Diel rhythms of sexual behavior and pheromone titers in *Isoceras sibirica* Alpheraky (Lepidoptera, cossidae). Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2013, 84(1): 15-26.

[8] 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 周兴苗, 汪细桥, 雷朝亮. 豆野螟成虫行为学特征及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 2007, 50(4): 335-342.

[9] 杨美红, 张金桐, 刘金龙, 荆小院, 骆有庆, 宗世祥, 曹川健, 李月华. 榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 2010, 53(11): 1273-1280.

[10] Jing X Y, Zhang J T, Luo Y Q, Liu P H, Zong S X, Liu J L, Yang M H. Circadian rhythms of sexual behavior and pheromone titers of *Holcocerus arenicola* (Lepidoptera: Cossidae). Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(3): 307-313.

[11] 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. 蜀柏毒蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 2012, 55(1): 46-54.

[12] 赵远, 胡志刚, 陈克平. 鳞翅目昆虫性信息素合成的分子机制研究进展. 蚕业科学, 2006, 32(4): 548-554.

[13] 郑福山, 强承魁, 董红霞, 沈媛. 二化螟的采集与室内饲养方法. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 7837-7838.

[14] Keller L F, Waller D M Inbreeding effects in wild populations. Trends in Ecology and Evolution, 2002, 17(5): 230-241.