草地螟交配行为及能力*

王 凯[1,2] 程云霞[1] 江幸福[1] 罗礼智[1**]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193;
2. 华中农业大学植物科技学院 武汉 430070)

摘 要 草地螟 *Loxostege sticticalis* L.(鳞翅目:螟蛾科)是我国北方地区的重大农牧业害虫。但国内外对草地螟的交配行为和能力尚无报道。为了阐明草地螟的大发生机理及改善其监控技术水平,本文在(22±1)℃、相对湿度70±5%、光周期为L:D=16:8的条件下研究和揭示了草地螟的交配行为和能力。首次获得的结果表明:成虫交配从4日龄开始,9日龄达到高峰。每日的交配主要发生在晚上熄灯后4~8 h(02:00~06:00)。雌雄成虫都能进行多次交配,交配次数1~6次不等,平均为2.4次。其中以交配2次的比例最高(32.4%),交配1次的次之(29.4%),之后的比例便随交配次数的增加而下降。草地螟的交配持续时间从21~148 min不等(n=145),平均为58.7 min,其中以50~70 min为最多(42.1%),30~50 min的次之(36.6%),小于30 min的比例(2.8%)最少。另外,成虫交配持续时间随蛾龄的增加而延长($Y=1.3488x+45.429$; $r=0.22$, $P=0.008$, n=145)。

关键词 草地螟,交配,行为,能力

Mating behavior and capacity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*

WANG Kai[1,2] CHENG Yun-Xia[1] JIANG Xing-Fu[1] LUO Li-Zhi[1**]

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, CAAS, Beijing 100193, China;
2. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The beet webworm, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) is an important migratory insect pest of crop and fodder plants in northern China. To better understand its outbreak mechanism, and improve monitoring and management of this pest, the mating behavior of adult *L. sticticalis* was studied under laboratory conditions ((22±1)℃, RH 70±5%, L:D=16:8). The results indicate that mating activity begins on day-4 and peaks on day-9. Mating activity occurred between 4 and 8 hours after lights were turned off. Adults could mate from 1 to 6 times, with an average of 2.4 times during their life span. 32.4% moths mated twice and 29.4% mated once with progressively lesser proportions mating more frequently. Mating duration lasted from 21 to 148 min (n=145), with an average of 58.7 min. Most copulations lasted from 50 to 70 min (42.1%, n=145), followed by 30 to 50 min (36.6%), with a small proportion (2.8%) lasting less than 30 min. The duration of copulation increased with age ($Y=1.3488x+45.429$; $r=0.22$, $P=0.008$, n=145).

Key words beet webworm, mating behavior, mating capacity

草地螟 *Loxostege sticticalis* L.是一种世界性害虫。主要分布于北纬36°~54°之间的草原、农田和农牧交错带,在欧亚大陆和北美洲均有严重危害和成灾的记录。在我国,草地螟主要在华北、东北和西北(三北)地区危害农作物和牧草(罗礼智和李光博,1993;罗礼智等,1998)。作为一种重大害虫,草地螟不仅食性广(尹姣等,2005),可危害的寄主植物达50余科、300余种植物(罗礼智等,2009),而且食量大,每次大发生造成的产量损失通常超过40%,并造成大面积的作物毁种和绝产。

* 资助项目:国家自然科学基金(31071641)、国家行业科技项目(201003079)。

**通讯作者,E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期:2010-05-07,接受日期:2011-04-19

自新中国成立以来,草地螟成灾的年份已达 26 年(黄绍哲等,2008),随着全球性气候变暖以及耕作栽培制度的改变,草地螟的发生危害越来越重,其中 2008 年我国 2 代草地螟更是成了新中国成立以来发生面积最大,危害程度最重的一个世代,成灾面积达 1 067.2 亿平方米(罗礼智等,2009)。

草地螟是一种远距离迁飞害虫,为害地点和时间具有较大的不确定性。掌握草地螟的发生危害规律,提高草地螟的监测、预报和控制技术水平,是目前草地螟防治的重点和难点。我国目前对草地螟的监测主要是借助黑光灯,但是,在草地螟发生广阔的草原和偏远地区,由于经济和电力的限制,黑光灯监测技术应用受到了限制。因此,研发其他有效的草地螟监控技术或方法十分必要。

性信息素作为害虫种群监测的一种有效方法,具有灵敏、简单、易操作等众多优点,现已应用于多种害虫的监测,尤其对一些无法应用灯光监测的害虫应用价值更大(Adams *et al.*, 1989; Jansson *et al.*, 1990; Jocelyn *et al.*, 2002)。但是,目前草地螟性信息素监测技术在国内外尚未有应用。可能的原因有: Struble 和 Lilly(1976)报道的加拿大草地螟性信息素组分对我国草地螟不具引诱作用(作者未发表结果),而我国目前还不知道草地螟性信息素有效成份。另外,草地螟的交配行为和能力在国内外也还没有报道。为了更好地阐明草地螟的生殖行为特征并为草地螟性信息素的研究与应用提供实验依据,作者对草地螟的交配行为和能力进行了研究。现将研究结果报道如下。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及饲养方法

草地螟虫源采自河北省康保县(114.63°E, 41.87°N)。采回的草地螟种群在人工气候箱内饲养 4 ~ 5 代,饲养温度为(22 ± 1) ℃,光照 L∶D = 16∶8,RH70% 左右。幼虫用新鲜灰菜(*Chenopodium album*)饲养,密度为 30 头/瓶(850 mL),每天更换新鲜灰菜。幼虫停止取食时,在瓶内加入 5 cm 厚、含水量约为 10% ~ 15% 的深层过筛土供其做茧、化蛹和羽化。

1.2　实验方法

将当日羽化的 70 对成虫按雌雄 1∶1配对于直径 8 cm,高 20 cm 的透明塑料罩内,顶部罩有 120 目的尼龙纱,罩底放有小培养皿,内有吸附 10% 葡萄糖水的脱脂棉球做为草地螟的蜜源,脱脂棉每天更换。将配对完成的处理饲养于人工气候箱内。条件与幼虫饲养相同。

从成虫羽化当日的暗期开始,用红光手电筒进行观察,每 15 min 观察一次,在观察过程中,记录每对成虫交配开始和结束的时间。在雌虫死亡后,将虫体放入 75% 酒精中,在 20 倍放大镜下解剖精包,并观察精包内精珠数量,以此验证所观察成虫的交配次数。

1.3　相关参数确定及数据处理

通过每天记录的数据确定草地螟成虫的交配开始时间、持续时间、交配次数和每日交配率(当日观察交配对数/当日观察总对数)。

交配率和交配持续时间分别以 30 min 和 20 min 为单位时间分析。交配持续时间与成虫、日龄的关系采用一元线性回归分析方法,回归关系的显著性检验采用方差分析的方法,显著水平为 $P < 0.05$,所有统计分析用 SPSS16.0 完成。

2　结果与分析

2.1　行为观察

求偶作为一种寻求配偶,导致交配的本能行为,草地螟上主要表现为雌蛾释放信息素后所引发的雄蛾一系列复杂行为反应。草地螟的求偶过程具体可分为 3 步: (1) 性信息素释放: 雌蛾在进入暗期一段时间后,腹部开始向上翘起,产卵器外伸,同时性腺外露以释放性信息素,翅膀不断振动,保持姿势以等待雄蛾进行交配; (2) 性信息素接收: 当雄蛾感受到性信息素后,触角竖起且来回摆动,粉刷打开形成扇形,并高频振动翅膀来回飞行; (3) 预交尾: 雄蛾发现雌蛾,表现为高度兴奋,开始爬行到雌蛾身旁,抱握器张开,阳茎伸出,试图与雌虫交配。

进入交尾后,雄蛾的抱握器夹住雌蛾,此后雌雄成虫呈“一”或“V”字形开始交配,雄蛾身体处于半僵状态,因此有时可以看到雄蛾倒挂于雌蛾之下。交配过程中雌雄蛾不会随便移动。

2.2　交配的昼夜节律

成虫在光照条件下(白天)未发现交配,所观

察到的所有交配均开始于暗期(黑夜)开始后 4 ~ 8 h,到次日早上亮灯后仍有零星交配未分开。把交配开始时间按 30 min 一级进行等级划分发现(图 1),交配开始时间主要集中在暗期最后2 h,开始交配的高峰期发生在暗期开始后 6.5 ~ 7 h 之间。

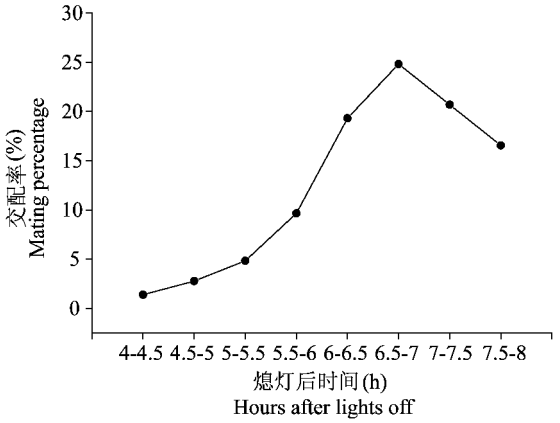

图 1 草地螟在熄灯后时间交配活动的昼夜节律(n = 145)

Fig. 1 Circadian rhythm of mating activities of adult *Loxostege sticticalis* entering hours after lights off (n = 145)

2.3 交配持续时间

在所观察的草地螟 145 次交配中,交配持续时间长度差异较大,从 21 min 到 148 min 不等,平均交配时间为 58.7 min,如果将交配持续时间跨度按 20 min 一个等级进行划分时发现(图 2),交配持续时间比较集中,其中 50 ~ 70 min 的发生概率最大(42.1%),持续时间为 30 ~ 50 min 的次之,发生概率为 36.6%,而只有极少数(2.8%)成虫的交配持续时间短于 30 min,持续时间超过 70 min 的仍有相当的数量,一些个体(约 8.3%)的交配持续时间可超过 90 min,最长可达 148 min。

观察发现,草地螟从 4 日龄开始出现 2 对交配,9 日龄观察到 18 对交配,占所有观察对数的 28.6%,为交配高峰日。此外,通过对各个日龄平均交配持续时间与日龄的关系发现(图 3),持续时间随蛾龄的增长逐渐延长(图 4),而且呈显著正相关($P = 0.008$),相关系数为 0.22。

2.4 交配次数

在雌雄比为 1∶1的情况下,雌雄都能进行多次

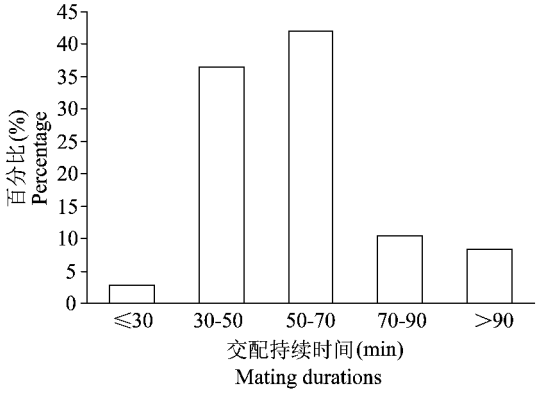

图 2 草地螟成虫交配持续时间的发生概率分布(n = 145)

Fig. 2 Distribution of mating durations of adult *Loxostege sticticalis* (n = 145)

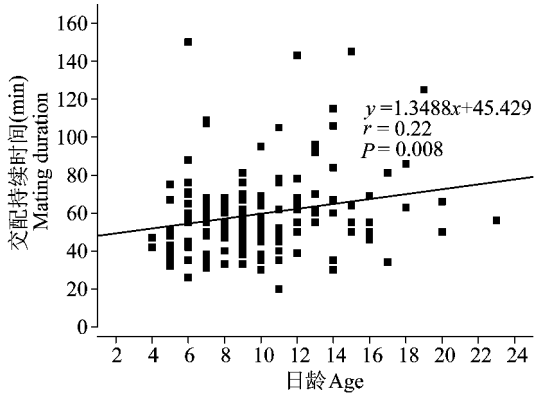

图 3 草地螟交配持续时间与日龄的关系(n = 145)

Fig. 3 The relationship between mating duration and adult age of *Loxostege sticticalis* moths (n = 145)

交配(图 4),交配次数 1 ~ 6 次不等,在所观察到的完成交配的 60 组处理中,以交配 2 次所占的比率最大(32.4%),其次为交配 1 次(29.4%),总体平均交配 2.4 次,其中有 1 对成虫出现了连续交配现象,交配次数为 6 次。

3 讨论

蛾类昆虫的求偶和交配多发生在夜间,具有很强的节律性,这种节律在一些昆虫中已经得到证实,比如豆野螟 *Maruca vitrata* (陆鹏飞等,2007)、小地老虎 *Agrotis ypsilon*(向玉勇和杨茂发,2008)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*(罗礼智等,2003)、槐小卷蛾 *Cydia trasias*(陈合明和祁润身,

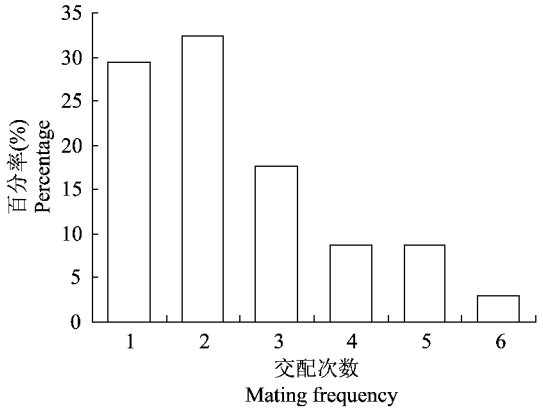

图 4　草地螟一生的交配次数分布
(n = 145, ♂ : ♀ = 1:1)

Fig. 4　Distribution of lifetime mating number of adult *Loxostege sticticalis* (n = 145, ♂ : ♀ = 1:1)

1996) 等。经昆虫性行为和性信息素产生与释放的生理学研究证实,昆虫的羽化、交尾和性信息素产生与释放节律相一致(Pope *et al.*, 1984) 。对草地螟交配和生殖的研究结果表明: 草地螟在夜晚才会交配,而且交配主要发生在暗期的后 4 个小时。与甘薯天蛾、甜菜夜蛾等具有 2 个高峰不同,草地螟仅有一个交配高峰,主要发生在暗期的最后 2 个小时。草地螟羽化当晚不能交配,最早观察到的交配时间为 4 日龄,而且仅仅观察到 1 对,9 日龄达到交配高峰,但在 23 日龄时依然观察到有成虫交配。这与草地螟作为一种迁飞害虫密切相关,因为较长的交配前期才能保证它们能有充足的时间利用远距离飞行去寻求适合自己的生境。

草地螟交配持续时间多以 50 ~ 70 min 的发生概率最大,一些个体交配持续时间可超过 90 min,最长可达 145 min,交配持续时间随蛾龄的增长逐渐延长,而且呈显著正相关($P = 0.008$) 。这种现象在其他蛾类昆虫中也有发现(罗礼智等,2003; 陆鹏飞等,2007) ,尽管其生物学意义目前尚不清楚。在 1 雌 1 雄配对的条件下,草地螟的交配次数以 1 ~ 2 次为主。由于试验中没有设定 1 雄多雌或 1 雌多雄的实验,无法得到雌雄成虫的最大交配能力。另外,在自然种群中,草地螟的实际交配能力或次数依然需要进一步确定。

本文的研究结果较为系统地阐明了草地螟求偶、交配行为、交配发生的时期和昼夜节律,交配能力、交配持续时间与成虫日龄的关系。这些首次获得的结果不仅丰富了蛾类昆虫交配生物学的理论和实践,而且也为草地螟性信息素的研发和应用提供了较有价值的实验依据。

参考文献(References)

Adams RG, Murray KD, Los LM, 1989. Effectiveness and selectivity of sex pheromone lures and traps for monitoring fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) adults in connecticut sweet corn. *Journal of Economic Entomology*, 82 (1) : 285—290.

陈合明,祁润身,1996. 槐小卷蛾的生殖特点与性诱剂防治. 植物保护,22(6) : 8—10.

黄绍哲,江幸福,雷朝亮,罗礼智, 2008. 草地螟(*Loxostege sticticalis*) 周期性大发生与太阳黑子活动的相关性. 生态学报,28(10) : 4823—4829.

Jansson RK, Mason LJ, Lecrone SH, 1990. Monitoring sweet potato weevil (Coleoptera: Curculionidae) with sex pheromone: effects of dosage and age of septa. *International Journal of Pest Management*, 36 (3) : 263—269.

Jocelyn GM, Kent MDJ, Steven M, Jardel AM, Raksha MK, Marta G, Walt JB, 2002. Development and optimization of methods for using sex pheromone for monitoring the mealybug *Planococcus ficus* (Homoptera: Pseudococcidae) in California vineyards. *Journal of Economic Entomology*, 95 (4) : 706—714.

陆鹏飞,乔海莉,王小平,周兴苗,汪细桥,雷朝亮,2007. 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,50(4) : 335—342.

罗礼智,曹卫菊,钱坤,胡毅,2003. 甜菜夜蛾交配行为和能力. 昆虫学报,46(4) : 494—499.

罗礼智,黄绍哲,江幸福,张蕾,2009. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析. 植物保护,35(1) : 27—33.

罗礼智,李光博,1993. 草地螟的有效积温及其世代区的划分. 昆虫学报,36(3) : 332—339.

罗礼智,张红杰,康爱国,1998. 张家口 1997 年一代草地螟幼虫大发生原因分析. 自热灾害学报,7(3) : 158—164.

Pope MM, Gaston LK, Baker TC, 1984. Composition, quantification and periodicity of sex pheromone volatiles from individual *Heliothis zea* females. *Journal of Insect Physiology*, 30: 943—945.

Struble DL, Lilly CE, 1976. An attractant for the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) . *Canadian Entomologist*, 109 (2) : 261—266.

向玉勇,杨茂发,2008. 小地老虎的交配行为和能力. 昆虫知识,45(1) : 50—53.

尹姣,曹雅忠,罗礼智,胡毅,2005. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制. 生态学报,25(8) : 1844—1852.