

二点委夜蛾飞行行为特征

郑作涛* 江幸福** 张 蕾 程云霞 罗礼智

(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)

摘 要 【目的】 本研究旨在阐明二点委夜蛾的飞行行为特征, 丰富二点委夜蛾飞行生物学理论, 提高其预测预报水平。【方法】 利用昆虫飞行磨被动吊飞系统和主动飞行监测系统, 系统研究了二点委夜蛾 *Athetis lepigone*(Möschler) 被动飞行能力和主动飞行意愿。【结果】 成虫具有较强的被动飞行潜力。室内连续吊飞 80 h, 雌雄蛾最远飞行距离分别达 106.71 km 和 148.32 km, 最长飞行时间分别达 43.05 h 和 40.01 h, 最快飞行速度分别达 7.60 km/h 和 8.14 km/h。雄蛾飞行潜力显著强于雌蛾, 体现在飞行距离和飞行时间显著高于雌蛾, 但飞行速度差异不显著。成虫蛾龄显著影响成虫飞行能力。对不同蛾龄成虫吊飞 12 h 的结果表明, 1 日龄即具备一定的飞行能力, 之后逐渐增强, 3 日龄时飞行能力最强, 雌雄蛾平均飞行距离分别为 29.61 km 和 27.55 km, 飞行时间分别为 10.04 h 和 9.46 h, 平均飞行速度分别达 2.76 km/h 和 2.46 km/h, 4 日龄成虫飞行能力开始下降, 但不同性别间成虫飞行能力差异不显著。蛾龄间飞行能力差异主要是由于不同蛾龄成虫的强、弱飞行个体比例不同。二点委夜蛾主动飞行呈现明显的节律行为, 飞行活动主要集中在暗期(19:00—次日 5:00), 在光期(5:00—19:00) 基本不飞行。成虫初羽化(1 日龄) 主动飞行意愿增强, 之后飞行活动减少, 但产卵开始时主动飞行活动又开始增强, 到 7 日龄达到峰值。【结论】 二点委夜蛾成虫具有较强的飞行能力, 其飞行能力受蛾龄, 雌雄等因素影响; 飞行具有明显的节律性。

关键词 二点委夜蛾, 飞行能力, 蛾龄, 性别, 自主飞行意愿

Flight ability of *Athetis lepigone*

ZHENG Zuo-Tao* JIANG Xing-Fu** ZHANG Lei CHENG Yun-Xia LUO Li-Zhi

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】 To describe the flight characteristics of *Athetis lepigone* (Möschler) thereby improving our understanding of its biology and the ability to forecast outbreaks of this species. 【Methods】 The flight capacity and flight willingness of *A. lepigone* were tested in a flight mill with a positive flight monitoring system. 【Results】 *A. lepigone* adults have strong passive flight potential. During 80 h of tethered flight, the farthest recorded flight distance of adult males and females were 106.71 km and 148.32 km, the longest flight duration were 43.05 h and 40.01 h and the fastest flight speed were up to 7.60 km/h and 8.14 km/h, respectively. The average flight duration and flight distance of male moths were significantly longer than those of females, but there was no significant difference in flight velocity between the sexes. There was an obvious variation in the flight capacity of adults from 1 to 4 four days post-emergence. Newly emerged adults had weak flight capacity during their first day post-emergence but flight capacity increased to a peak level after 3 days. Flight capacity declined from day 4 but there was no significant difference in flight ability between the sexes. The observed variation in flight ability from 1 to 4 d post-emergence is mainly attributed to different proportions of strong vs weak fliers in each age group. Flight activity was mainly concentrated during the hours of darkness and displayed obvious temporal rhythms. The strongest propensity for flight occurred on days 1 and 7 after emergence. 【Conclusion】 Adult *A. lepigone* have generally strong flight capacity that varies with age post-emergence and sex. Flight activity displays obvious temporal rhythms.

Key words *Athetis lepigone*, flight capacity, behavior, flight willingness

*E-mail: xuanzeleni@sina.com

**通讯作者, E-mail: xfjiang@ippcaas.cn

收稿日期: 2014-03-15, 接受日期: 2014-04-01

二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler) 属于鳞翅目, 夜蛾科, 委夜蛾属, 是我国玉米生产中新发害虫。2005 年, 首次在河北省报道危害夏玉米幼苗(姜京宇和席建英, 2006), 之后逐年扩散危害, 2011 年河北、山东、河南、安徽、江苏、山西和北京等 7 省(市)夏玉米产区大规模暴发, 危害面积近 220 万 hm^2 , 严重威胁黄淮海夏玉米生产安全(王振营等, 2012)。由于二点委夜蛾是一种新发害虫, 国内外对其研究较少, 近几年国内对其研究主要集中在二点委夜蛾发生危害特点、田间发生规律、生物学特征、预测预报技术和防治措施等方面(姜京宇等, 2008, 2011a, 2011b; 江幸福等, 2011a, 2011b; 石洁等, 2011; 王振营等, 2012), 而对于二点委夜蛾的飞行行为研究还未见报道。鉴于二点委夜蛾在我国的扩散危害速度较快, 推测其可能具备较强的迁飞(或扩散)能力。本文对二点委夜蛾成虫的被动飞行能力及其与蛾龄的关系以及主动飞行意愿进行了系统研究。明确这一问题, 对于阐明二点委夜蛾是否具备远距离迁飞(或扩散)行为习性及其在我国各主要危害区的虫源关系, 提高预测预报和防治水平均有重要意义。

目前对昆虫野外飞行行为的研究有标记释放回收(李光博等, 1964; 王振营等, 1995; 陈阳等, 2012; 韩经纬等, 2013)、雷达监测(陈鹿瑞等, 1992; 吴孔明等, 2006; 高月波等, 2008; 杨秀丽等, 2008)、灯光诱集(江幸福等, 2009; 蒋春先等, 2011; 武俊杰等, 2012)等。而室内研究主要采用飞行磨吊飞方式, 该方法主要研究昆虫的飞行规律和飞行能力, 揭示环境因子对昆虫飞行能力的影响, 以及对昆虫飞行过程中生理代谢变化的研究都起到非常重要的作用(Cheng *et al.*, 2012)。由于室内吊飞测试采用的是被动飞行, 为了更客观的反应昆虫的主动飞行行为, 通过昆虫自主飞行记录装备可对一些昆虫如小地老虎 *Agrotis ypsilon*、草地螟 *Loxostege sticticalis*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等成虫的自主飞行能力进行测试(贾佩华和曹雅忠, 1992; 程云霞和罗礼智, 2012; 潘攀等, 2013)。本文利用实验室自主研发的昆虫飞行磨吊飞系统和自主飞行记录系统对二点委夜蛾的飞行能力及其与蛾龄、性别之间的关系以及主动飞行意愿进行了测试, 现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验虫源来自河北省馆陶县(115.4°E, 36.5°N)玉米田中采集二点委夜蛾幼虫, 实验前已经在室内连续繁殖 6 代。用自制的人工饲料(江幸福等, 2013)饲喂幼虫, 幼虫密度为 1 头/孔(24 孔板, 0.57 mL)。当日羽化的成虫配对($\text{♀}:\text{♂}=1:1$)后置于 850 mL 玻璃瓶中, 每天饲喂 5% 蜂蜜水。从卵、幼虫、蛹到成虫的整个世代发育过程中, 室内温度为 $(26\pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 50%~60%、光周期为 L14:D10。

1.2 飞行能力的测试

吊飞测试共分为 3 个实验:(1)持续飞行潜力测试:将初羽化的成虫连续吊飞测定其飞行潜力,直至成虫死亡;(2)不同日龄成虫飞行能力测试:将羽化后的二点委夜蛾雌雄 1:1 配对饲养,分别选取羽化后 1、2、3、4 日龄的雌雄蛾各吊飞 12 h,测试其飞行能力;(3)间歇飞行能力测试:将 2 日龄成虫于晚间吊飞 12 h(19:00—7:00),飞行结束后从飞行磨上取下后正常饲喂,于次日相同时间第 2 次重复吊飞,重复到第 3 次,分别测试第 1、2、3 次雌蛾和雄蛾间歇飞行能力。测试仪器为昆虫飞行磨吊飞系统,该系统可自动记录测试昆虫的飞行时间、距离和速度等飞行参数。测试方法同 Jiang 等(2010)。测试温度为 $(24\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 50%~60%。测试开始时间均为晚上 7:00,在完全黑暗的条件下进行。

1.3 自主飞行意愿的测试

飞行意愿测试仪器为本实验室研制的昆虫自主飞行监测系统,该系统包括实验装置(光周期控制装置、盛放昆虫的监测罩和视频采集装置)和监测分析模块(图像运动目标识别分析模块、飞行参数提取模块和统计分析模块)(程云霞和罗礼智, 2012)。具体操作方法如下:将当天初羽化的二点委夜蛾每 6 对($\text{♀}:\text{♂}=1:1$)为一个重复放入圆柱形透明塑料监测罩(直径 20 cm, 高 25 cm)中,共设置 3 个重复。测试温度为 $(26\pm 1)^\circ\text{C}$ 、湿度 50%~60%,光周期为

L:D=14:10, 并每天饲喂新鲜的 5% (v/v) 蜂蜜水。通过视频采集装置对监测罩中的 1~10 日龄二点委夜蛾成虫的飞行行为进行视频信号采集。视频采集时间为每天上午 10:30 至次日上午 10:30, 每目录制 24 h, 暗期采用可控红外装置进行视频信号采集。采集结束后系统将视频文件中的运动行为转化为定量数据, 然后通过定义飞行阈值对二点委夜蛾的飞行活动数据进行抽取和分析。其中定义二点委夜蛾的飞行阈值为 100, 仅大于 100 的视频转换数据被认为是成虫飞行所致而参与计数。抽取出的飞行数值通过飞行参数统计分析模块校验后, 输出飞行累计时间、飞行活跃度、飞行次数等参数 (潘攀等, 2013)。

1.4 数据处理

所得数据均用平均值±标准误来表示, 两组数据均值比较采用 *t*-测验, 两组以上处理组间的飞行参数数值经方差分析 (ANOVA) 后, 用 Tukey's HSD 多重比较法进行差异显著性测定。分析的显著水平为 *P*<0.05, 采用的统计分析软

件为 SAS 9.0 版。

2 结果与分析

2.1 成虫飞行潜力

初羽化 (1 日龄) 未取食的二点委夜蛾成虫连续吊飞结果表明 (表 1), 二点委夜蛾具有较强的飞行潜力 (表 1)。对雄蛾和雌蛾飞行能力 *t*-检验的结果显示, 雄蛾的飞行能力显著强于雌蛾的, 体现在累计飞行时间 (*F*=1.71, *P*<0.05) 和飞行距离 (*F*=1.26, *P*<0.01) 显著高于雌蛾, 但飞行速度差异不显著 (*F*=5.81, *P*>0.05)。

进一步分析二点委夜蛾的飞行潜力, 按照飞行距离的长短将雌雄蛾飞行距离划分为 3 个级别进行比较 (图 1), 雄蛾飞行距离超过 100 km 的个体比雌蛾多 16%, 飞行距离在 70~100 km 的雄蛾个体比例比雌蛾多 8%, 而雌蛾飞行距离小于 70 km 的个体比例要比雄蛾高 24%。同样的按照飞行时间的长短分级比较也表明, 雄蛾飞行时间大于 30 h 的个体比例比雌蛾多 25%, 而雌蛾飞行时间在 20~30 h 和小于 20 h 范围内的个体比例分别比雄蛾高 1% 和 24%。

表 1 二点委夜蛾持续飞行潜力
Tabel 1 Sustained flight potential of *Athetis lepigone* moths during tethered flight after emergence

性别	虫数	飞行距离	飞行时间	飞行速度	最长飞行距离	最长飞行时间	最快飞行速度
Gender	Sample size	Flight distance (km)	Flight duration (h)	Flight Velocity (km/h)	Max fight distance (km)	Max flight Duration (h)	Max flight velocity (km/h)
雄 Male	29	95.46±5.12a	31.81±1.23a	2.97±0.07a	148.32	40.01	8.14
雌 Female	37	73.41±5.09b	26.80±1.43b	2.78±0.15a	106.71	43.05	7.60

表中数据为平均数±标准误; 同一列数据后标有不同字母表示经 *t*-测验比较后在 0.05 水平差异显著, 相同字母为差异不显著。
Data are presented as mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by *t*-test.

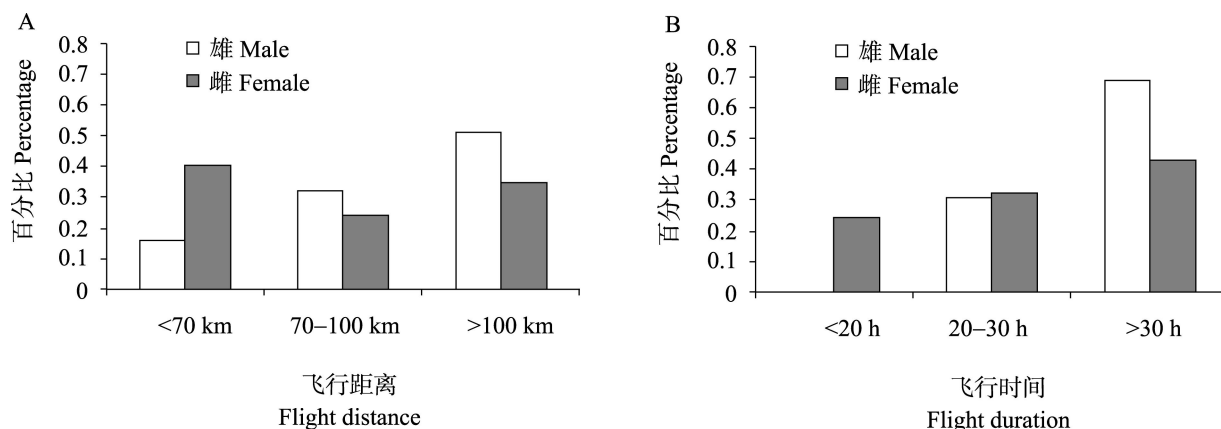


图 1 连续吊飞下二点委夜蛾飞行距离 (A) 和时间 (B) 的范围个体比例分布

Fig. 1 Frequency distribution of flight distance (A) and duration (B) of *Athetis lepigone* moths during continuous tethered flight

2.2 不同日龄成虫吊飞飞行能力

12 h 的吊飞测试中, 不同日龄的二点委夜蛾飞行能力随蛾龄的增长而发生变化 (表 2)。不同日龄雄蛾的飞行时间差异不显著 ($F=1.01$, $P>0.05$), 而雌蛾飞行时间差异显著 ($F=3.86$, $P<0.05$), 其中 1 日龄雌虫显著低于 3、4 日龄, 但与 2 日龄差异不显著。不同日龄雄蛾飞行距离存在显著性差异 ($F=3.06$, $P<0.05$), 1 日龄显著低于 3 日龄, 但与 2、4 日龄差异不显著。不同日龄雌虫的飞行距离也存在显著性差异 ($F=3.20$, $P<0.05$), 1 日龄显著低于 3、4 日龄, 但与 2 日龄差异不显著。

对雄虫和雌虫 t -检验的结果显示, 12 h 的吊飞条件下, 同一 (相同) 日龄的雌蛾和雄蛾在飞行时间、飞行距离和飞行速度上均没有显著性差异 ($P>0.05$)。但随着吊飞时间的延长, 当连续吊飞时 (80 h), 雌雄蛾飞行能力差异达到显著 (表 1), 这表明成虫雌雄飞行能力之间差异水平可能与吊飞时间有关。

为进一步分析不同日龄的成虫飞行能力变化, 根据飞行距离的长短划分 3 个飞行能力等级, 强飞行 (>30 km)、中飞行 (10~30 km) 和弱飞行 (<10 km)。结果表明随着蛾龄的变化, 日龄对雄蛾不同飞行距离等级的影响不显著 ($\chi^2=10.80$, $P=0.0948$), 而对雌蛾的影响显著 ($\chi^2=18.82$, $P=0.0051$)。雄蛾 3 日龄强飞行个体比

例最高, 分别比 1、2 和 4 日龄高 44.7%、36.4% 和 18.4% (图 2)。1 日龄中飞行个体比例最高, 分别比 2、3 和 4 日龄高 6.2%、45.6% 和 31.6%。4 日龄弱飞行个体比例最高, 2 日龄最低。雌蛾不同飞行能力等级的比例变化与雄蛾不同。雌蛾强飞行个体比例最高的为 3 日龄, 分别比 1、2 和 4 日龄高 50.6%、38.4% 和 19.0%。中飞行个体比例以 2 日龄最高, 3 日龄最低。1 日龄弱飞行比例最高, 分别比 2、3 和 4 日龄高 17.9%、26.0% 和 26.3%。

同样的根据成虫飞行时间的长短划分为 3 个等级, 强飞行 (>8 h)、中飞行 (4~8 h) 和弱飞行 (<4 h), 结果表明, 日龄对雄蛾和雌蛾不同飞行时间等级的影响均显著 ($\chi^2=26.11$, $P=0.0002$; $\chi^2=30.79$, $P<0.0001$) (图 3)。羽化后 1 日龄雄蛾以 4~8 h 飞行时长的中飞行个体为主, 占到总体的 52.6%, 随着蛾龄的增加, 中飞行个体数逐渐下降至 31.8%、22.2% 和 15.8%。至 4 日龄时, 强飞行和弱飞行个体比例都为最高。雌蛾的变化规律与雄蛾基本一致。

2.3 间歇飞行能力

每次间歇飞行 12 h 吊飞测试结果显示, 雌雄蛾每次飞行能力逐渐下降, 其中雌雄蛾不同飞行次数的飞行时间 ($F=15.02$, $P<0.01$) 和飞行距离 ($F=5.65$, $P<0.01$) 均存在显著性差异 (图 4)。随着飞行次数的增加, 飞行时间和飞行距

表 2 不同日龄二点委夜蛾吊飞 12 h 的飞行能力

Table 2 Flight capacity of *Athetis lepigone* moths during 12-hours tethered flight on different days after emergence

日龄 Age	飞行时间 (h) Flight duration		飞行距离 (km) Flight distance		飞行速度 (km/h) Flight velocity	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1	7.32±0.72 b (19)	7.86±0.61a (19)	19.50±2.89b(19)	16.76±1.92b(19)	2.47±0.16ab (19)	2.03±0.12a (19)
2	9.09±0.67ab(22)	8.89±0.71a (22)	21.70±2.85ab(22)	20.19±2.17ab(22)	2.30±0.14b(22)	2.16±0.12a (22)
3	10.04±0.54a (18)	9.46±0.79a (18)	29.61±2.90a(18)	27.55±3.42a(18)	2.76±0.21ab (18)	2.46±0.19a (18)
4	9.64±0.67a(19)	9.39±1.04a(19)	28.40±2.95a(19)	23.83±2.82ab(19)	2.88±0.18a (19)	2.43±0.17a (19)

表中数据为平均数±标准误; 每列数据后标有不同字母表示经 Tukey's HSD 多重比较在 0.05 水平差异显著, 相同字母为差异不显著; 括号内为测试虫数。

Data are mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by Tukey's HSD test. The numbers in parentheses show the sample size.

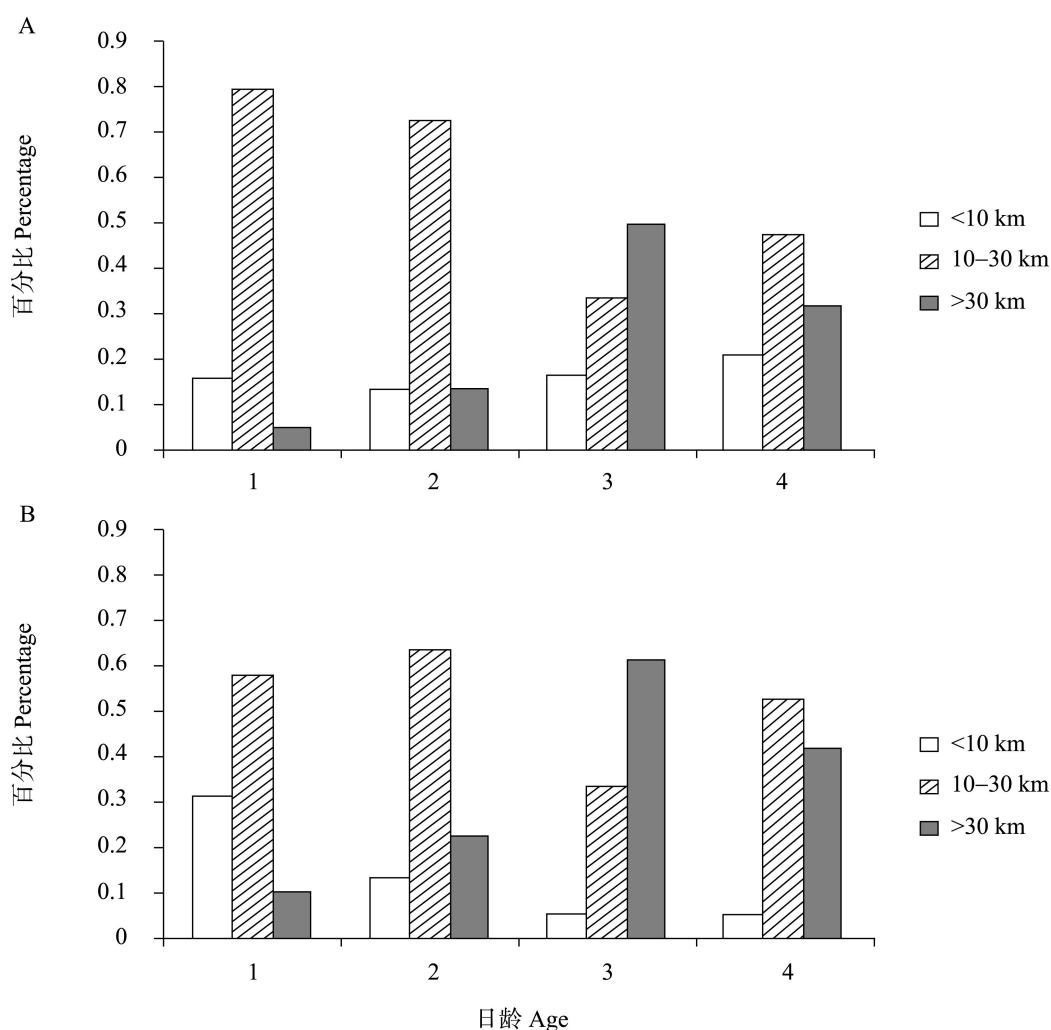


图 2 不同日龄二点委夜蛾雄蛾 (A)、雌蛾 (B) 飞行距离的个体比例范围分布

Fig. 2 Frequency distribution of flight distance of *Athetis lepigone* moths for both male (A) and female (B) at different adult ages

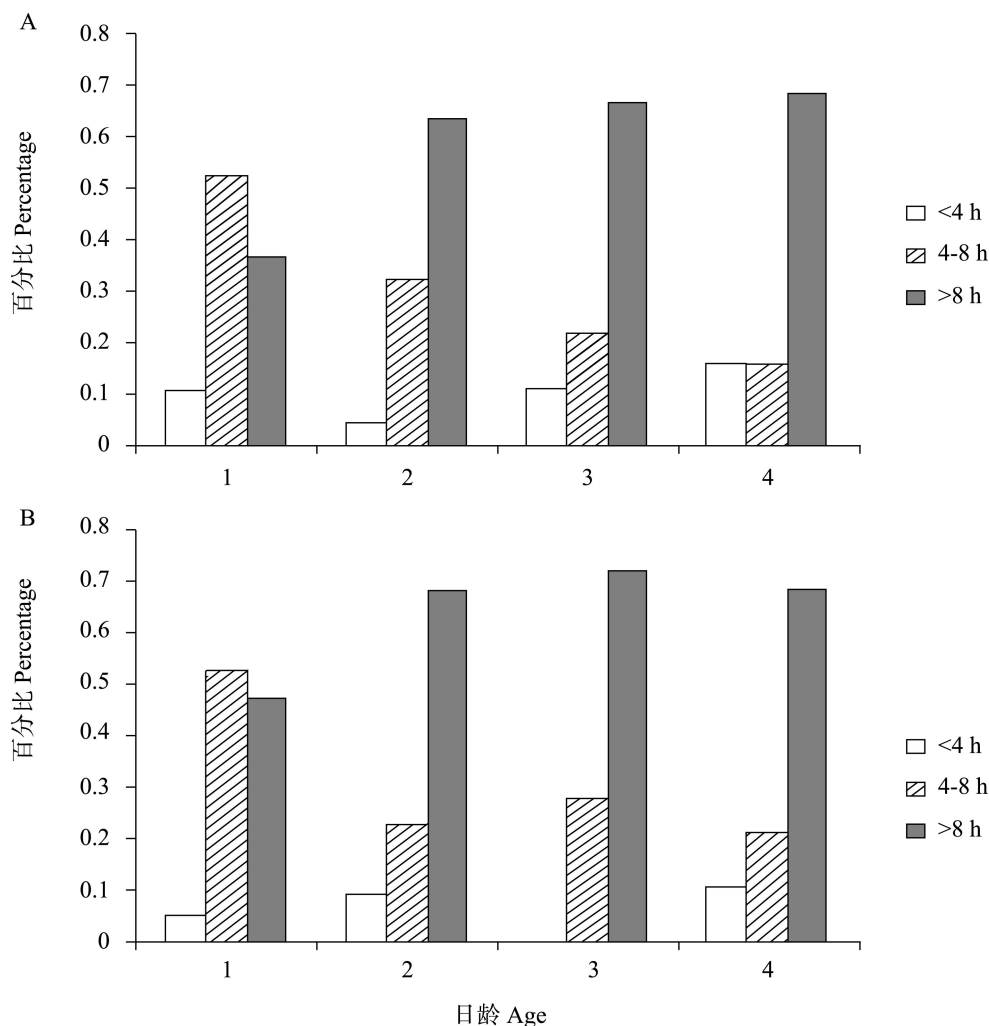


图3 不同日龄二点委夜蛾雄蛾(A)、雌蛾(B)飞行时间的个体比例范围分布图

Fig. 3 Frequency distribution of flight duration of *Athetis lepigone* moths for both male (A) and female (B) at different adult ages

离显著降低,雄蛾第2次飞行距离与第1次相比差距不显著,而不同飞行次数的飞行速度 ($F=1.61$, $P>0.05$) 之间差异不显著。雌蛾飞行时间 ($F=15.45$, $P<0.01$)、飞行距离 ($F=12.40$, $P<0.01$) 和飞行速度 ($F=6.58$, $P<0.01$) 之间均存在显著性差异,随着飞行次数的增加,飞行能力显著下降。对雄蛾和雌蛾飞行能力 t -检验的结果显示,相同飞行次数下雌蛾和雄蛾在飞行时间、飞行距离和飞行速度上都没有显著性差异 ($P>0.05$)。

2.4 自主飞行节律

通过昆虫自主飞行检测系统测试的结果显

示,二点委夜蛾飞行行为节律性明显(图5),通过对1日龄成虫的飞行活动测试,二点委夜蛾成虫飞行活动在一个完整的光周期内呈现明显的节律变化,在光期成虫基本没有明显的飞行活动,从光期转入暗期后,成虫的飞行活动显著增多,测试结果显示飞行活跃度、飞行次数和飞行时间明显增加,飞行行为出现双峰,第1个峰出现时间为19:00—22:00,第2个峰出现时间为1:00—3:00,第2个峰要大于第1个。

2.5 不同日龄成虫自主飞行行为

不同日龄的二点委夜蛾飞行活动差异明显,不同日龄成虫飞行活跃度、飞行累时和飞行次数

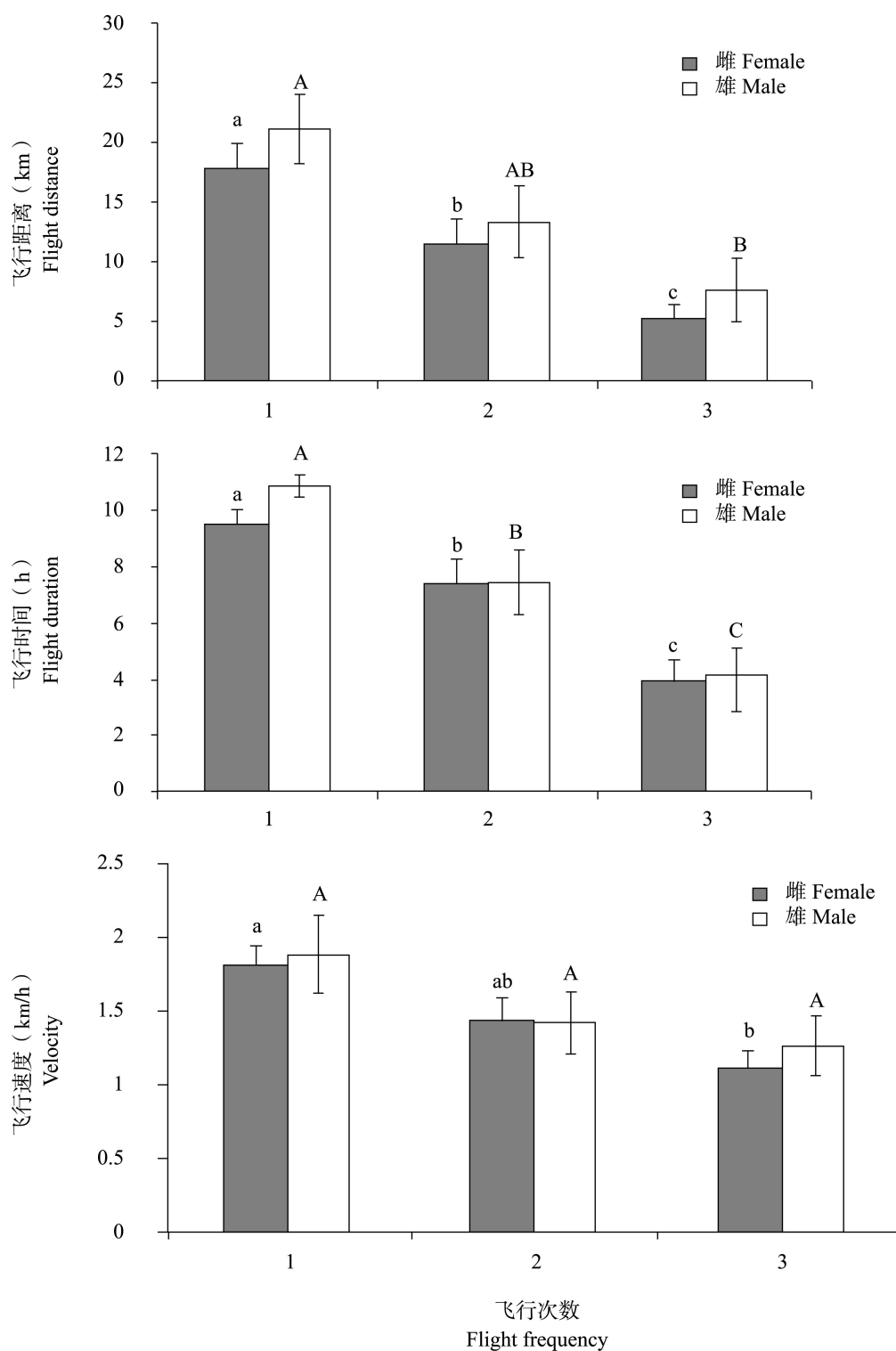


图 4 不同次数二点委夜蛾的飞行能力

Fig. 4 Flight capacity of *Athetis lepigone* moths during different flight frequency

表中数据为平均数±标准误；小写字母表示雌蛾组间的比较，大写字母表示雄蛾组间的比较，柱上不同字母表示经

*E-mail: xuanzeleni@sina.com

**通讯作者, E-mail: xfjiang@ippcaas.cn

收稿日期: 2014-03-15, 接受日期: 2014-04-01

Tukey's HSD 多重比较在 0.05 水平差异显著, 相同字母为差异不显著。

Data are mean $\pm$ SE. The lowercase letters mean comparison between the female group and the uppercase letters mean comparison between the male group. Different letters above the bars indicate significantly different at 0.05 level by Tukey's HSD test.

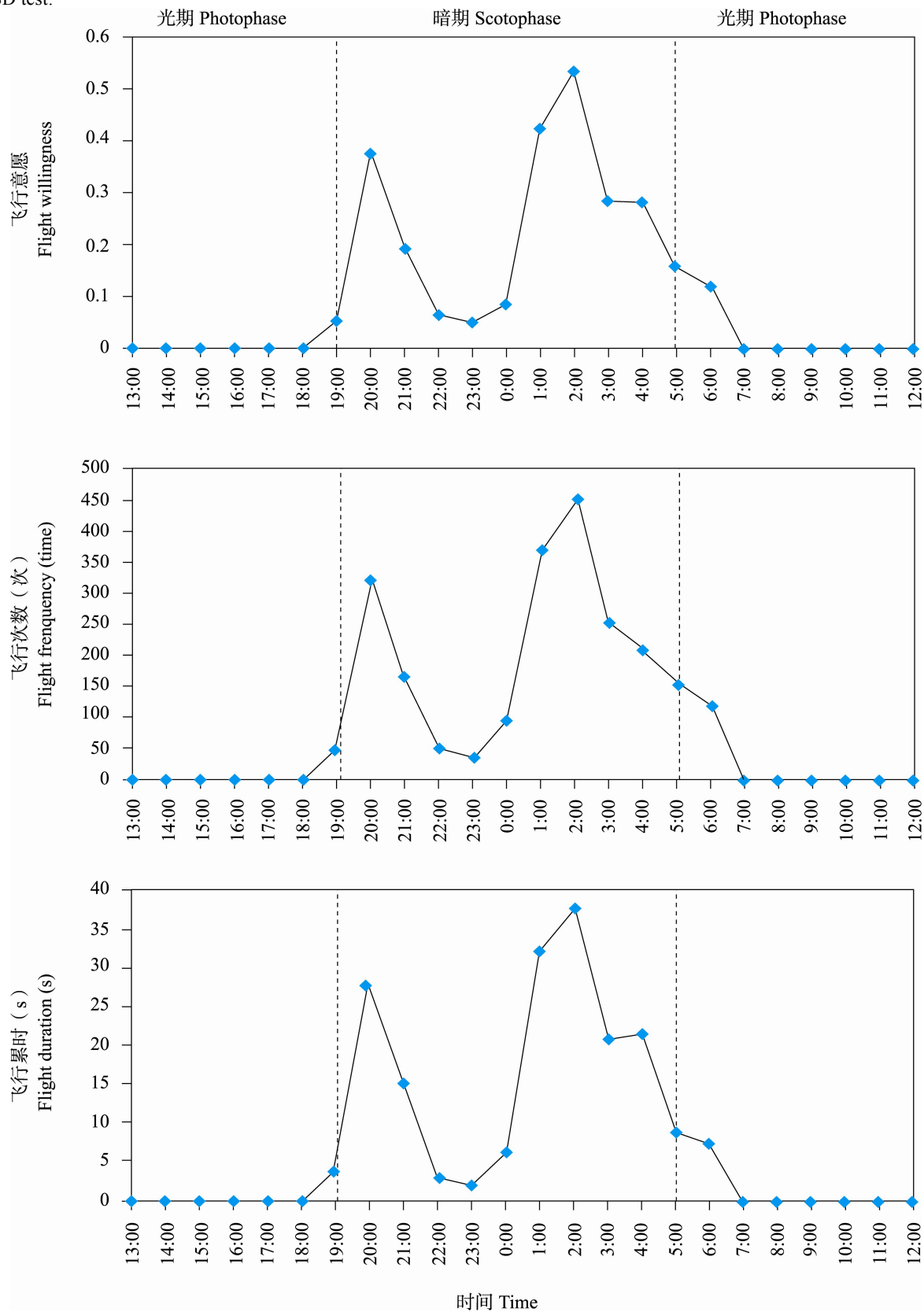


图 5 1 日龄二点委夜蛾成虫的飞行日节律 (图中数据为 3 个重复的平均数)

Fig. 5 Flight diurnal rhythm of 1-day-old *Athetis lepigone* moths (data showed in the graph is the average of 3 replicates)

这 3 次指标差异均达到显著水平 ($F=3.27$, $P<0.01$; $F=2.65$, $P<0.01$; $F=2.97$, $P<0.01$) (表 3)。根据二点委夜蛾产卵期将 10 个观察日龄分为产卵前期 (1~4 日龄) 和产卵期 (大于 4 日龄), 在产卵前期随着日龄的增加, 飞行参数逐渐降低, 1 日龄各参数显著大于 2~4 日龄。而在产卵期, 从 5 日龄开始各参数逐渐升高, 7 日龄达到峰值后, 随着日龄的增加各参数迅速下降。

3 讨论

吊飞试验的结果表明, 二点委夜蛾具有较强的飞行潜力。初羽化成虫连续吊飞 (80 h) 的结果显示, 成虫平均飞行累计时间 30 h 左右, 平均累计飞行距离 70 km 以上, 最高累计飞行 40 h 以上, 最大飞行距离 148 km 以上, 单次最长飞行距离 78 km 以上。与已报道的具有远距离迁飞行为习性的甜菜夜蛾飞行能力相当 (江幸福和罗礼智, 2010)。这表明二点委夜蛾具有远距离迁飞 (或扩散) 的潜力。不同日龄的成虫飞行能力呈现先上升后下降的趋势, 1 日龄飞行能力最低, 2 日龄逐渐上升, 3 日龄的飞行能力最强, 从 4

日龄开始飞行能力开始下降。这可能与此时成虫开始产卵导致飞行能源物质转向生殖有关 (Johnson, 1969)。不同飞行次数的吊飞结果显示, 虽然初次飞行过后有补充营养, 但是飞行能力却不能达到或超过初次飞行的水平, 随着飞行次数的增加, 飞行能力下降显著, 推测二点委夜蛾最多有一次远距离或者高强度的飞行。自主飞行结果显示, 二点委夜蛾飞行活动具有明显的节律性, 光期飞行活动极少, 由光期转入暗期后, 飞行活动急剧增加, 在暗期中存在两个活跃高峰, 凌晨 2:00 达到飞行活动最活跃点。这与二点委夜蛾田间活动节律以及大多数夜蛾科昆虫的飞行节律相似 (李建勋等, 2008; 李立涛等, 2012)。虽然 1 日龄吊飞条件下飞行能力较弱, 但是自主飞行结果显示, 1 日龄和 7 日龄自主飞行能力显著大于其他日龄, 究其原因可能与 1 日龄成虫初羽化, 取食行为频繁和振翅行为增加有关, 而 7 日龄出现活动高峰主要是与产卵高峰期重合, 二点委夜蛾产卵前期一般为 4 d 左右, 7 日龄的成虫单日产卵量最多, 产量活动最频繁。

表 3 不同日龄二点委夜蛾自主飞行行为
Table 3 Active flight performance of *Athetis lepigone* moths at different ages

日龄 (d) Age(d)	飞行意愿 Flight willingness	飞行累时 (s) Total flight duration (s)	飞行次数 Flight frequency
1	0.57±0.16ab	39.77±11.63a	424.30±113.10ab
2	0.32±0.09bc	22.81±6.94abc	266.67±77.47bc
3	0.30±0.08bc	21.04±5.36abc	243.43±60.84bc
4	0.17±0.05c	11.79±3.71c	146.30±40.17c
5	0.30±0.06bc	20.27±4.41bc	261.23±53.71bc
6	0.54±0.09ab	35.22±6.15ab	439.07±72.34ab
7	0.69±0.17a	41.87±9.44a	529.08±114.59a
8	0.45±0.10abc	30.13±6.25abc	370.6±75.72abc
9	0.22±0.04c	19.76±4.80bc	208.30±46.08bc
10	0.19±0.04c	11.82±2.41c	174.50±37.26c

表中数据为平均数±标准误; 每列数据后标有不同字母表示经 Tukey’s HSD 多重比较在 0.05 水平差异显著, 相同字母为差异不显著。

Data are mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by Tukey’s HSD test.

二点委夜蛾是否为迁飞性害虫还存在争议, 大量越冬老熟幼虫的发现以及在河北省监测发

现当地成虫数量没有出现突增突减的现象(石洁等, 2011; 马继芳等, 2012), 这些研究成果为二点委夜蛾不具有迁飞习性提供了证据。但是仅仅凭借这些还不足以判断二点委夜蛾的迁飞性, 研究中也发现了支持的证据。首先, 姜京宇等(2011b)和李立涛等(2012)通过诱集发现田间成虫有迁出现象。其次张智等(2013)通过监测发现虽然北京延庆地区不利于其发生, 但是监测发现 1 代成虫数量高于条件更适宜的河北栾城地区, 说明 1 代成虫部分有迁入。最后张智等(2013)通过高空探照灯诱集和雷达回波的监测都表明二点委夜蛾具有迁飞或兼性迁飞的特点。

尽管室内飞行能力测试不能完全反映田间自然条件下的飞行活动, 飞行磨吊飞测试的结果也只是被动条件下的相对指标, 还不能鉴定二点委夜蛾是否具备迁飞行为习性。但本文结果表明二点委夜蛾确实具有较强的远距离迁飞(或扩散)的潜力, 但这种潜力并不意味着其是迁飞性害虫, 其迁飞行为习性的鉴定还有待于进一步根据其越冬习性、种群密度同期突增和同期突减、高山(海面)网捕、雷达监测、标记回收以及本身的生理行为习性进行鉴定。

参考文献 (References)

- Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Sappington TW, 2012. Synchronized oviposition triggered by migratory flight intensifies larval outbreaks of beet webworm. *PLoS ONE*, 7(2): e31562.
- Jiang XF, Luo LZ, Sappington TW, 2010. Relationship of flight and reproduction in beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), a migrant lacking the oogenesis-flight syndrome. *Journal of Insect Physiology*, 56(1): 1631-1637.
- Johnson CG, 1969. Migration and dispersal of insects by flight. London: Methuen. 1-763.
- 陈阳, 姜玉英, 刘家骧, 吕英, 孟正平, 陈静, 唐继洪, 2012. 标记回收法确认我国北方地区草地螟的迁飞. 昆虫学报, 55(2): 176-182. [Chen Y, Jiang YY, Liu JX, Lv Y, Meng ZP, Chen J, Tang JH, 2012. Mark-release-recapture validation of the migration of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae), in northern China. *Acta Entomologica Sinica*, 55(2): 176-182.]
- 陈鹿瑞, 暴祥致, 王素云, 孙雅杰, 李立群, 刘继荣, 1992. 草地螟迁飞活动的雷达观测. 植物保护学报, 19(2): 171-174. [Chen LR, Bao XZ, Wang SY, Sun YJ, Li LQ, Liu JR, 1992. An observation on the migration of meadow moth by radar. *Acta Phytophylacica Sinica*, 19(2): 171-174.]
- 程云霞, 罗礼智, 2012. 昆虫自主飞行监测系统和分析方法. 中国, [P], ZL201110051190.6. 2012-10-17. [Cheng YX, Luo LZ. Monitoring system and analyzing method for autonomous flying of insect. China, ZL201110051190.6. 2012-10-17.]
- 高月波, 陈晓, 陈钟荣, 包云轩, 杨荣明, 刘天龙, 翟保平, 2008. 稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)迁飞的多普勒昆虫雷达观察及动态. 生态学报, 28(11): 5239-5246. [Gao YB, Chen X, Chen ZR, Bao YX, Yang RM, Liu TL, Zhai BP, 2008. Dynamic analysis on the migration of rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by droppler Insect Monitoring Radar and numerical simulation. *Acta Ecologica Sinica*, 28(11) 5239-5246.]
- 韩经纬, 陈素华, 闫伟兄, 陈阳, 2013. 草地螟越冬代成虫迁飞的气象条件分析. 中国农业气象, 34(3): 332-337. [Han JW, Chen SH, Yan WX, Chen Y, 2013. Meteorological Conditions for Migration of Over-winter *Loxostege sticticalis* Imago. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 34(3): 332-337.]
- 贾佩华, 曹雅忠, 1992. 小地老虎成虫的飞翔活动. 昆虫学报, 35(1): 59-65. [Jia PH, Cao YZ, 1992. Flight behavior of *Agrotis ypsilon* (Rottemberg). *Acta Entomologica Sinica*, 35(1): 59-65.]
- 蒋春先, 齐会会, 孙明阳, 武俊杰, 张云慧, 程登发, 2011. 2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析. 生态学报, 31(21): 6495-6504. [Jiang CX, Qi HH, Sun MY, Wu JJ, Zhang YH, Cheng DF, 2011. Occurrence dynamics and trajectory analysis of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 31(21): 6495-6504.]
- 姜京宇, 席建英, 2006. 河北省 2005 年农作物病虫新动态概述. 中国植保导刊, 26(7): 45-47. [Jiang JY, Xi JY, 2006. New dynamics of diseases and pest insects in agricultural crop in 2005 in Hebei province. *China Plant Protection*, 26(7): 45-47.]
- 姜京宇, 李秀芹, 许佑辉, 李智慧, 张志英, 许昊, 2008. 二点委夜蛾研究初报. 植物保护, 34(3): 123-126. [Jiang JY, Li XQ, Xu YH, 2008. Preliminary studies on *Athetis (Proxenus) lepigone*. *Plant Protection*, 34(3): 123-126.]
- 姜京宇, 李秀芹, 刘莉, 王鹏, 郝延堂, 许昊, 马继芳, 柴同海, 许佑辉, 梁建辉, 2011a. 河北省玉米田二点委夜蛾发生危害初报. 植物保护, 37(5): 213-214. [Jiang JY, Li XQ, Liu L, Wang P, Hao YT, Xu H, Ma JF, Chai TH, Xu YH, Liang JH, 2011a. A preliminary report on occurrence and damages of *Proxenus lepigone* in maize field in Hebei province. *Plant Protection*, 37(5): 213-214.]
- 姜京宇, 李秀芹, 刘莉, 许昊, 张志英, 安丽云, 2011b. 二点委夜蛾的监测技术初报. 植物保护, 37(6): 141-143. [Jiang JY, Li XQ, Liu L, Xu H, Zhang ZY, An LY, 2011d. A preliminary report on monitoring technology of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*,

- 37(6): 141-143.]
- 江幸福, 罗礼智, 2010. 我国甜菜夜蛾迁飞与越冬规律研究进展与趋势. 长江蔬菜, (18): 36-37. [Jiang XF, Luo LZ, 2010. Progress and tendency on migration and overwintering of beet armyworm (*Spodoptera exigua*) in China. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 36-37.]
- 江幸福, 罗礼智, 姜玉英, 张跃进, 张蕾, 王振营, 2011. 二点委夜蛾发生为害特点及暴发原因初探. 植物保护, 37(6): 130-133. [Jiang XF, Luo LZ, Jiang YY, Zhang YJ, Zhang L, Wang ZY, 2011a. Damage characteristics and outbreak causes of *Athetis lepigone* in China. *Plant Protection*, 37(6): 130-133.]
- 江幸福, 罗礼智, 张蕾, 2013. 一种二点委夜蛾(*Athetis lepigone*)的人工饲料其制备方法与应用. 中国, [P], 201110404232.X. 2013-02-13. [Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, 2013. Preparation method and application on an artificial diets of *Athetis lepigone*. China, ZL201110404232.X. 2013-02-13.]
- 江幸福, 姚瑞, 林珠凤, 张蕾, 罗礼智, 2011b. 二点委夜蛾形态特征及生物学特性. 植物保护, 37(6): 134-137. [Jiang XF, Yao R, Lin ZF, Zhang L, Luo LZ, 2011b. Morphological and biological characteristics of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 134-137.]
- 江幸福, 罗礼智, 张蕾, 康爱国, 张跃进, 姜玉英, 2009. 佳多虫情测报灯和普通黑光灯对草地螟种群监测与防治效果比较. 植物保护, 35(2): 109-113. [Jiang XF, Luo LZ, Jiang YY, Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, 2009. Comparison of Jiaduo automatic pest forecast light trap and blacklight trap for monitoring and trapping the meadow moth, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 35(2): 109-113.]
- 李光博, 王恒祥, 胡文绣, 1964. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报, 3(2): 101-109. [Li GB, Wang HX, Hu XW, 1964. Hypothesis of seasonal migration of armyworm and experiment of mark-recapture. *Acta Phytophylacica Sinica*, 3(2): 101-109.]
- 李建勋, 李娟, 程伟霞, 刘雅丽, 刘怀, 王进军, 2008. 甜菜夜蛾成虫生物学特性研究. 中国农学通报, 24(5): 318-322. [Li JX, Li J, Cheng WX, Liu YL, Liu H, Wang JJ, 2008. The Bionomics of Adult Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal Article*, 24(5): 318-322.]
- 李立涛, 王新玉, 杨利华, 刘磊, 马继芳, 董立, 甘耀进, 董志平, 2012. 二点委夜蛾成虫夜间活动规律及对不同杀虫灯管的趋性反应. 中国植保导刊, 32(5): 21-22. [Li LT, Wang XY, Yang LH, Liu L, Ma JF, Dong L, Gan YJ, Dong ZP, 2012. Nocturnal activity patterns of *Athetis lepigone* and response to different insecticidal lamps. *China Plant Protection*, 32(5): 21-22.]
- 马继芳, 王新玉, 李立涛, 董立, 甘耀进, 董志平, 2012. 二点委夜蛾的发生规律及其防治技术. 中国植保导刊, 32(5): 26-29. [Ma JF, Wang XY, Li LT, Dong L, Gan YJ, Dong ZP, 2012. Occurrence regularity of *Proxenus lepigone* and related control technology. *China Plant Protection*, 32(5): 26-29.]
- 潘攀, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2013. 稻纵卷叶螟飞行行为特征. 应用昆虫学报, 50(3): 583-591. [Pan P, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2013. The characteristics of flight in the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 50(3): 583-591.]
- 屈刚刚, 路子云, 李建成, 李中建, 李辉利, 刘文旭, 冉红凡, 2012. 冀中南地区二点委夜蛾成虫发生动态及活动节律研究. 河北农业科学, 16(12): 5-7. [Qu ZG, Lu ZU, Li JC, Li ZJ, Li HL, Liu WX, Ran HF, 2012. Study on occurrence dynamics and activity rhythm of *Athetis lepigone* adults in middle and south of Hebei Province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 16(12): 5-7.]
- 石洁, 王振营, 姜玉英, 单旭南, 张海剑, 王静, 戈星, 2011. 二点委夜蛾越冬场所调查初报. 植物保护, 37(6): 138-140. [Shi J, Wang ZY, Jiang YY, Shan XN, Zhang HJ, Wang J, Ge X, 2011. A preliminary report on investigation of the overwintering sites of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 138-140.]
- 王振营, 周大荣, 宋彦英, 王忠跃, 何康来, 张广义, 刘勇, 1995. 亚洲玉米螟一、二代成虫扩散规律研究. 植物保护学报, 22(1): 7-11. [Wang ZY, Zhou DR, Song YY, Wang ZY, He KL, Zhang GY, Liu Y, 1995. A release-and-recapture study on dispersal of adults of first and second generation Asian corn borer in north china. *Acta Phytophylacica Sinica*, 22(1): 7-11.]
- 王振营, 石洁, 董金皋, 2012. 2011年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策. 玉米科学, 20(1): 132-134. [Wang ZY, Shi J, Dong JG, 2012. Reason analysis on *Proxenus lepigone* outbreak of summer corn region in the Yellow river, Huai and Hai rivers plain and the countermeasures suggested. *Journal of Maize Sciences*, 20(1): 132-134.]
- 吴孔明, 翟保平, 封洪强, 程登发, 郭予元, 2006. 华北北部地区二代棉铃虫成虫迁飞行为的雷达观测. 植物保护学报, 33(2): 163-167. [Wu KM, Zhai BP, Feng HQ, Cheng DF, Guo YY, 2006. Radar observations on the migratory behavior of the second generation cotton bollworm moths in the north part of northern China. *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(2): 163-167.]
- 武俊杰, 蒋春先, 张云慧, 齐会会, 李庆, 程登发, 2012. 2011年广西兴安地区白背飞虱种群发生动态及迁飞轨迹分析. 植物保护, 38(5): 51-57. [Wu JJ, Jiang CX, Zhang YH, Qi HH, Li Q, Cheng DF, 2012. Occurrence dynamics and trajectory analysis of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*, in Xing'an of Guangxi Municipality in 2011. *Plant Protection*, 38(5): 51-57.]
- 杨秀丽, 陈林, 程登发, 孙京瑞, 2008. 毫米波扫描昆虫雷达空中昆虫监测的初步应用. 植物保护, 34(2): 31-36. [Yang XL,

- Chen L, Cheng DF, Sun JR, 2008. Primary application of millimetric scanning radar to tracking high-flying insects in southern China. *Plant Protection*, 34(2): 31-36.]
- 张智, 张云慧, 姜玉英, 爱婷, 魏书军, 程登发, 蒋金伟, 张方梅, 彭赫, 2013. 华北二点委夜蛾种群动态监测及北京北部地区虫源性质分析. 昆虫学报, 56(10): 1189-1202. [Zhang Z, Zhang YH, Jiang YY, Xie AT, Wei SJ, Cheng DF, Jiang JW, Zhang F, Peng H, 2013. Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) in North China and analysis of the source of its populations in northern Beijing. *Acta Entomologica Sinica*, 56(10): 1189-1202.]