

美国白蛾飞行能力的测定*

李雅惠^{1**} 李强¹ 曹利军² 宋放¹ 潘忠玉¹ 陈敏^{1***}

(1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083;

2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要 【目的】明确性别、日龄及温度等因素对美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) 飞行能力的影响, 为预测种群扩散趋势以及监测预警提供科学依据。【方法】利用昆虫飞行磨吊飞方法, 测定了不同日龄、性别及温度对美国白蛾成虫飞行能力的影响。【结果】美国白蛾雄虫的飞行能力显著高于雌虫。不同日龄美国白蛾飞行能力也存在显著差异。雄虫的飞行能力随日龄的增加呈下降趋势。1 日龄雄虫最大累计飞行距离 17.87 km, 最大累计飞行时间 17.38 h。雌虫飞行能力随着日龄的增加呈现先增强后减弱的趋势, 其中, 3 日龄雌虫最大累计飞行距离 8.21 km, 最大累计飞行时间 7.4 h。对平均累计飞行距离、平均累计飞行时间以及平均飞行速度进行双因素方差分析, 未发现明显的性别日龄交互作用。处于低温 (16 °C) 环境条件下, 雄虫飞行速度明显减缓。【结论】美国白蛾雄虫飞行能力高于雌虫, 随着日龄的增加, 雄虫飞行能力逐渐降低, 雌虫呈现出先升高后降低的变化趋势。低温对美国白蛾雄虫飞行能力具有一定影响。

关键词 美国白蛾; 性别; 日龄; 温度; 飞行能力

Determination of the flight ability of *Hyphantria cunea* (Drury)

LI YA-Hui^{1**} LI Qiang¹ CAO Li-Jun² SONG Fang¹
PAN Zhong-Yu¹ CHEN Min^{1***}

(1. Beijing Forestry University, Key Laboratory Beijing Control Forest Pest, Beijing 100083, China;

2. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the influence of sex, age (days) and temperature, on the flight ability of adult *Hyphantria cunea*, and there by provide information essential for monitoring, and predicting, the dispersal of this pest. 【Methods】The effect of gender, age and temperature on the flight ability of adult *H. cunea* was measured in an insect flight mill. 【Results】Males were significantly stronger fliers than females with a maximum flight distance of 17.87 km and cumulative flight time of 17.38 h. One day-old males had the longest cumulative flight distance; the average cumulative flight distance and average cumulative flight time of males decreased with age. The maximum female flight distance was 8.21 km and the longest cumulative flight time was 7.4 h. Female flight distance tended to first increase, then decrease, with age. Three day-old females had the maximum cumulative flight distance. A two-way ANOVA of the average cumulative flight distance, average cumulative flight time, and average flight speed, did not detect a significant interaction between sex and age. Male flight speed was significantly slower at a temperature of 16 °C. 【Conclusion】Male *H. cunea* are stronger fliers than females. Male flight ability gradually decreases with age, whereas that of females tends to increase up to 3 days of age, then decrease. Low temperatures reduce the flight speed of *H. cunea* males.

Key words *Hyphantria cunea*; gender; day of age; temperature; flight capacity

美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Dury) 属于鳞翅目 Lepidoptera 灯蛾科 Arctiidae, 是世界检疫性害虫 (杨忠岐和张永安, 2007; 罗立平等, 2018)。美国白蛾原产于北美洲, 主要分布于美

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划资助 National Key R & D Program of China (2021YFD1400300)

**第一作者 First author, E-mail: yahui@bjfu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: minch@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-11-18; 接受日期 Accepted: 2022-12-30

国和加拿大南部,生态分布范围在 19°-55°N 之间(季荣等, 2003)。20 世纪 20 年代,美国白蛾入侵至中欧多个国家(Sullivan *et al.*, 2010; Kiyota *et al.*, 2011)。在亚洲地区,1945 年入侵日本东京,而后传入韩国、朝鲜等。自此,该害虫在北半球几十个国家成功定殖并广泛扩散(Sullivan and Ozman-Sullivan, 2012)。1979 年,美国白蛾首次入侵我国辽宁丹东地区(于长义, 1993),目前已扩散至我国 14 个省(自治区、直辖市)的 611 个县级行政区(赵旭东等, 2022),而且在长江下游呈加速扩散趋势。

研究昆虫的飞行能力对预测该昆虫的扩散传播趋势具有重要作用。不同昆虫的飞行能力不同,其自主扩散的能力也不同。对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的室内吊飞试验,证明了昆虫远距离迁飞有利于提高自身的生存能力(入侵其他生态系统)(Nayar and Handel, 1971; 江幸福等, 2019)。张建军等(2007)对松墨天牛 *Monochamus alternatus* 成虫的室内吊飞和野外自然扩散规律的研究发现,松墨天牛成虫长距离持续飞行扩散使得松材线虫病疫区进一步扩大。

影响昆虫飞行能力的因素是多方面的,一方面与自身体内神经系统和激素调控有关,如保幼激素在调节迁飞昆虫的飞行与生殖转换中起着关键作用(王欠欠等, 2019),另一方面温湿度、光照、能源物质、外源营养、种群密度、气压、磁场、气流场以及不同寄主植物等外界因素会影响昆虫飞行能力,另外性别、日龄、生殖状态等个体差异也会影响昆虫的飞行能力(刘豪, 2021)。Yamanaka 等(2001)对 1 日龄和 3 日龄美国白蛾雄虫进行飞行磨、风洞试验及田间标记捕获研究发现,雄虫具有长距离飞行的能力。但是,美国白蛾不同日龄飞行能力的变化趋势以及内外因素如性别、温度等对其飞行能力的影响还不清楚。本研究采用飞行磨吊飞的方法,对不同日龄美国白蛾成虫飞行能力进行测定,并分析性别、日龄等因素对飞行能力的影响,研究结果对明确美国白蛾种群的近距离扩散模式和种群的扩张规律提供重要参考,为美国白蛾的监测预警和防治工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

美国白蛾成虫来自于人工饲养的实验室种群。实验条件为温度 25 °C,光照 16 L : 8 D,于养虫笼中饲养,每日收集自然羽化的成虫,记录羽化时期,10%的蜂蜜水饲养直至用于吊飞实验。

1.2 吊飞实验

选取羽化后 1-5 日龄的雌雄虫进行吊飞试验。采用佳多昆虫飞行磨系统(河南佳多公司),飞行磨吊臂长 20 cm、直径 0.2 mm 的不锈钢丝。测试前将美国白蛾成虫用乙醚麻醉 20 s,用连接棒(细铜丝和塑料电线管组成)蘸取少量 502 胶(东莞市千千合胶粘科技有限公司)粘接在前胸背板处,粘接方向与前胸背板垂直,且不能损坏或粘接到翅膀、触角等。放置 2-3 min,苏醒后固定在飞行磨吊臂上,注意吊臂要与连接棒垂直,昆虫身体水平,飞行方向与飞行轨迹相切。设置测试环境温度为 16 和 24 °C,相对湿度 80%,光照 16 L : 8D,无风,吊飞时间 23.5 h,测定不同性别、日龄的美国白蛾飞行参数。吊飞结束后,收集未死亡、未掉落、翅膀未损坏,且飞行时间达到一定长度(雄虫 1 h 以上,雌虫 0.5 h 以上)的美国白蛾,此类美国白蛾飞行数据为有效数据。

1.3 数据分析

各飞行参数如平均累计飞行距离、平均累计飞行时间、平均飞行速度均由系统自带分析软件计算得出。将所得飞行数据进行 LOGx 对数转换,使其符合正态分布和同方差性的必要假设,参照刘晓博等(2017)对各处理飞行数据进行比较。应用 SPSS28.0 软件对不同性别、日龄美国白蛾飞行参数进行单因素方差分析(One-way ANOVA)统计差异显著后,采用 Tukey HSD 多重比较;对不同温度条件飞行参数差异显著性采用 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 不同性别和日龄的美国白蛾成虫累计飞行距离

1-4 日龄雄虫平均累计飞行距离均显著高于雌虫, 5 日龄雄虫平均累计飞行距离则低于雌虫 (图 1: A)。1 日龄雄虫平均累计飞行距离最大 (7.49 ± 0.82) km, 最大累计飞行距离为 17.87 km。随着日龄增加, 平均累计飞行距离逐渐降低, 5 日龄平均累计飞行距离最小 (0.79 ± 0.32) km, 最大累计飞行距离为 2.33 km, 其中 3 日龄最大累计飞行距离可达 24.42 km, 为吊飞期间最大累计飞行距离。单因素方差分析结果显示, 各日龄雄虫平均累计飞行距离差异显著 ($F=2.49$, $df=4$, $P=0.05$)。1-3 日龄雌虫平均累计飞行距离逐步增大, 3 日龄达到顶峰 (5.05 ± 0.91) km, 最大累计飞行距离为 8.21 km, 此后逐渐降低。单因素方差分析结果显示, 各日龄雌虫平均累计飞行距离差异显著 ($F=7.02$, $df=4$, $P=0.00$)。对平均累计飞行距离进行双因素方差分析, 性别 ($F=9.00$, $df=1$, $P=0.00$) 对平均累计飞行距离影响达到显

著水平; 日龄 ($F=1.89$, $df=4$, $P=0.12$) 对平均累计飞行距离影响并不显著, 性别和日龄交互对平均累计飞行距离的影响未达到显著水平 ($F=2.41$, $df=1$, $P=0.06$)。

2.2 不同性别和日龄的美国白蛾成虫累计飞行时间

各日龄雄虫平均累计飞行时间均高于雌虫 (图 1: B)。雄虫平均累计飞行时间随着日龄增加逐渐变短, 1 日龄平均累计飞行时间最长 (7.19 ± 0.66) h, 最大累计飞行时间为 17.38 h, 5 日龄平均累计飞行时间最短 (1.25 ± 0.43) h, 最大累计飞行时间为 2.29 h。单因素方差分析结果显示, 各日龄雄虫平均累计飞行时间差异显著 ($F=3.17$, $df=4$, $P=0.02$)。雌虫平均累计飞行时间的变化经历了先上升后下降两个阶段, 其中 3 日龄平均累计飞行时间最长 (3.03 ± 0.56) h, 最大累计飞行时间为 7.4 h, 此后逐渐下降。单因素方差分析结果显示, 各日龄雌虫平均累计飞行时间差异显著 ($F=4.08$, $df=4$, $P=0.01$)。对平均累计飞行时间进行双因素方差分析, 结果显示, 性别 ($F=15.53$, $df=1$, $P=0.00$)、日龄 ($F=3.12$,

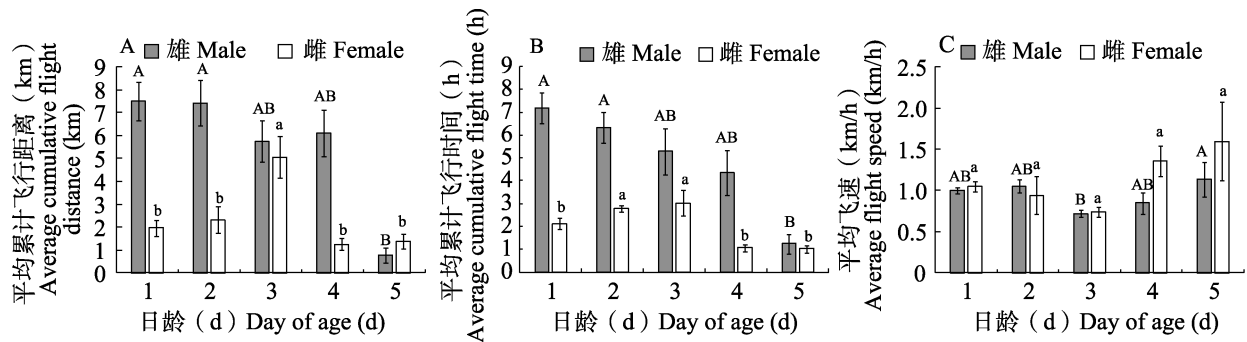


图 1 不同日龄美国白蛾成虫的飞行能力

Fig. 1 The flight capacity of *Hyphantria cunea* adults on different day ages

A. 不同日龄的平均累计飞行距离; B. 不同日龄的平均累计飞行时间;
C. 不同日龄的平均飞速。柱上标有不同大写字母表示不同日龄雄虫差异显著;
柱上标有不同小写字母表示不同日龄雌虫差异显著
($P<0.05$, 单因素方差分析, Tukey HSD 多重比较)。

A. Average cumulative flight distance on different day ages; B. Average cumulative flight time on different day ages; C. Average flight speed on different day ages. Histograms with different capital letters indicate significant differences among various day ages males, while with different lowercase letters indicate significant differences among various day ages females ($P<0.05$) (One-way ANOVA, tests by Tukey HSD).

$df=4$, $P=0.02$) 对美国白蛾平均累计飞行时间影响均达到显著水平, 然而性别和日龄互作对平均累计飞行时间的影响并未达到显著水平 ($F=1.43$, $df=1$, $P=0.23$)。

2.3 不同性别和日龄的美国白蛾成虫平均飞行速度

1-3 日龄雌雄虫平均飞行速度差异不明显, 但 4、5 日龄雌虫平均飞速高于雄虫 (图 1: C)。平均飞速随日龄的增加逐渐降低而后升高。羽化后 3 日龄雌雄虫平均飞行速度最慢, 雄虫为 (0.72 ± 0.04) km/h, 最快飞行速度为 2.05 km/h, 雌虫为 (0.74 ± 0.06) km/h, 最快飞行速度为 1.77 km/h; 5 日龄雌雄虫平均飞行速度最快, 雄虫为 (1.14 ± 0.21) km/h, 最快飞行速度为 2.21 km/h, 雌虫为 (1.60 ± 0.48) km/h, 最快飞行速度为 3.5 km/h。单因素方差分析结果显示, 各日龄雄虫平均飞行速度差异显著 ($F=3.43$, $df=4$, $P=0.01$)。各日龄雌虫平均飞行速度差异

不显著 ($F=1.90$, $df=4$, $P=0.13$)。对平均飞行速度进行双因素方差分析, 性别对平均飞行速度影响未达到显著水平 ($F=1.15$, $df=1$, $P=0.29$); 日龄对平均飞行速度影响达到显著水平 ($F=3.28$, $df=4$, $P=0.01$), 性别和日龄互作对平均飞行速度的影响未达到显著水平 ($F=1.82$, $df=1$, $P=0.13$)。

2.4 温度对飞行能力的影响

我们测定了未交配、未取食的美国白蛾 1 日龄雄虫在两种温度条件下 (24 和 16 °C) 的飞行能力 (表 1)。对两种温度条件下不同飞行参数进行 t 检验, 结果表明: 雄虫的平均累计飞行时间 ($t=1$, $df=39$, $P=0.28$) 和平均累计飞行距离 ($t=0.45$, $df=39$, $P=0.66$) 在两种温度下没有显著差异, 而平均飞速 ($t=2.71$, $df=39$, $P=0.01$) 具有显著差异。24 °C 时平均飞行速度明显高于 16 °C 的飞行速度, 表明较低的温度对雄虫飞行能力有一定的影响。

表 1 1 日龄美国白蛾雄虫两种温度条件下的飞行能力

Table 1 The flight capacity of 1-day old *Hyphantria cunea* males at two different temperatures

温度 (°C) Temperature (°C)	平均累计飞行距离 (km) Average cumulative flight distance (km)	平均累计飞行时间 (h) Average cumulative flight time (h)	平均飞行速度 (km/h) Average flight speed (km/h)
24	7.49±0.82 a	8.77±1.35 a	1.02±0.05 a
16	6.74±1.08 a	7.20±0.66 a	0.76±0.06 b

数据为平均值±标准误; 同一列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, t 检验)。

The data are presented as mean±SE, and followed by the different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level by Student's t -test.

3 讨论

昆虫飞行能力是预测种群自主扩散能力的一个重要因素。研究美国白蛾飞行能力及其影响因素, 对预测种群的扩散趋势以及该害虫的监测预警至关重要。

昆虫飞行能力强弱与其个体大小以及形态差异有关。本研究发现美国白蛾雄虫飞行能力显著高于雌虫。同样, 亚洲型舞毒蛾 *Lymantria dispar* 和二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 雄虫的飞行能力也显著高于雌虫 (杨帆等, 2012; 郑作涛等,

2014)。翅膀载荷差异可能是造成雄虫的飞行能力高于雌虫的主要原因 (邢振龙, 2014)。

本研究中美国白蛾成虫不同日龄飞行能力存在显著差异, 而且不同性别成虫的各项飞行参数随着日龄的变化趋势不同。美国白蛾雄虫随着日龄增加, 平均累计飞行距离和平均累计飞行时间逐渐降低。美国白蛾雌虫随着日龄增加, 平均累计飞行距离和平均累计飞行时间则表现出先升高后降低的变化趋势, 平均飞行速度均在 3 日龄降到最低而后又升高的变化趋势, 可见不同的飞行参数随着日龄的变化趋势不同, 这与金纹细

蛾 *Lithocolletis ringoniella*、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*、梨小食心虫 *Grapholitha molesta*、香梨优斑螟 *Euzophera pyriella* 和草地螟 *Loxostege stictalis* (唐继洪等, 2016; 崔笑雄等, 2020; 侯国辉等, 2022) 飞行参数变化规律基本一致。这可能与昆虫体内能源物质利用有关。碳水化合物作为昆虫早期飞行最容易调动的物质, 对昆虫快速起飞有着重要作用, 脂类物质是昆虫持续飞行的重要能源物质 (袁瑞玲等, 2015)。猜测羽化初期, 美国白蛾雄虫对碳水化合物等能源物质利用程度较雌虫高, 因而羽化初期雄虫飞行能力较强而雌虫相对较弱。随着持续飞行距离和时间的增加, 脂类物质大量消耗, 雄虫飞行能力逐渐降低, 而雌虫具有高脂含量使其飞行能力逐渐增强, 但随着日龄增加储存的脂肪被大量消耗, 飞行能力随之下降。昆虫飞行肌结构的发育情况影响昆虫的飞行能力 (王伟等, 2013; 窦洁等, 2017), 随着体内各项能源物质快速消耗, 昆虫体重减轻, 飞行肌在虫体内的比例显著增加, 这使得飞行能力提高, 然而到达一定程度后, 飞行肌细胞凋亡, 飞行能力减弱 (任金龙等, 2015)。美国白蛾属于雄性先熟的类型, 为满足交配需要, 羽化初期雄虫表现出更强的飞行能力, 而雌虫需要分配能量供给生殖发育, 为昆虫的卵子的发生提供能源物质 (冯红林等, 2011; 王伟等, 2013)。

温度对昆虫的飞行能力有直接影响 (Fahrner *et al.*, 2015; Martini *et al.*, 2018)。在最适温度范围内赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 飞行能力随着温度的升高而增加, 超过了最适飞温度后飞行能力明显减弱 (王欠欠等, 2019)。另外, 在过高或者过低的温度条件下, 昆虫的飞行能力相对较弱 (韩海斌等, 2017)。Jerbi-Elayed 等 (2015) 对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 飞行能力研究同样印证了上述结论。本研究中, 在较低温度 (16 °C) 条件下, 美国白蛾雄虫平均累计飞行时间和平均累计飞行距离都有所降低, 而平均飞行速度显著降低。推断低温对美国白蛾雄虫的飞行速度具有显著影响, 能够降低美国白蛾雄虫的飞行能力。本研究仅对比了 2 个不同温度条件的飞行参数,

而更广的温度变化范围对美国白蛾飞行参数的影响, 还有待进一步实验得已补充。

本研究基于室内条件, 分析性别、日龄、温度等因素对美国白蛾飞行能力的影响, 研究结果对完善美国白蛾的飞行生物学, 以及预测美国白蛾种群扩散提供理论基础。由于自然条件的复杂性, 美国白蛾的实际飞行能力和状态受虫体内外各种因素的综合作用, 因此本研究在实验室条件下获得的飞行参数数据, 不能完全反映自然环境中的实际飞行能力。而且, 自然环境中其他可能影响昆虫飞行的因素, 如不同来源的种群、食料、湿度、交配状态等对飞行能力的影响还有待进一步探索。

参考文献 (References)

- Cui XX, Ma ZH, Xiong RC, Li ZX, Yao YS, 2020. A study on the flight ability of *Euzophera pyriella* Yang. *Journal of Environmental Entomology*, 42(5): 1223–1229. [崔笑雄, 麻正辉, 熊仁次, 李志雄, 姚永生, 2020. 香梨优斑螟飞行能力的研究. *环境昆虫学报*, 42(5): 1223–1229.]
- Dou J, Zhang RY, Liu M, Qian X, Xiao HW, Roman J, Ji R, 2017. Comparison of flight muscle and energy consumption of pre-and post-flight in *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Pratacultural Science*, 34(8): 1721–1726. [窦洁, 张若燕, 刘敏, 钱雪, 肖宏伟, Roman Jashenko, 季荣, 2017. 飞行前后意大利蝗飞行肌及能源消耗比较. *草业科学*, 34(8): 1721–1726.]
- Fahrner SJ, Lelito JP, Aukema BH, 2015. The influence of temperature on the flight capacity of emerald ash borer *Agrilus planipennis* and its parasitoid, *Tetrastichus planipennisi*: Implications to biological control. *BioControl*, 4(60): 437–449.
- Feng HL, Sun HY, Li KB, Xi JH, Yin J, Cao YZ, 2011. Progress of molecular biology researches in insect flight muscle cell apoptosis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 701–709. [冯红林, 孙红岩, 李克斌, 席景会, 尹姣, 曹雅忠, 2011. 昆虫飞行肌细胞凋亡的分子生物学研究进展. *应用昆虫学报*, 48(3): 701–709.]
- Han HB, Wang MY, Liu AP, Yu FC, Wang SM, Zhang AP, 2017. Effects of temperature and humidity on the flight capacity of *Exorista civilis* Rondani. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 237–242. [韩海斌, 王梦圆, 刘爱萍, 于凤春, 王世明, 张爱萍, 2017. 温湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响. *应用昆虫学报*, 54(2): 237–242.]
- Hou GH, Cui XX, Zhu Y, Xiong RC, Yao YS, 2022. Determination

- of the flight capacity of *Lithocolletis ringoniella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Acta Entomologica Sinica*, 65(5): 612–620. [侯国辉, 崔笑雄, 朱悦, 熊仁次, 姚永生, 2022. 金纹细蛾飞行能力测定. 昆虫学报, 65(5): 612–620.]
- Jerbi-Elayed M, Lebdi-Grissa K, Le Goff G, Hance T, 2015. Influence of temperature on flight, walking and oviposition capacities of two aphid parasitoid species (Hymenoptera: Aphidiinae). *Journal of Insect Behavior*, 2(28): 157–166.
- Ji R, Xie BY, Li XH, Gao ZX, Li DM, 2003. Research progress on the invasive species, *Hyphantria cunea*. *Entomological Knowledge*, 40(1): 13–18. [季荣, 谢宝瑜, 李欣海, 高增祥, 李典漠, 2003. 外来入侵种——美国白蛾的研究进展. 昆虫知识, 40(1): 13–18.]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Song LL, 2019. Advances in migration and monitoring techniques of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Plant Protection*, 45(1): 12–18. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 宋琳琳, 2019. 草地贪夜蛾迁徙行为与监测技术研究进展. 植物保护, 45(1): 12–18.]
- Kiyota R, Arakawa M, Yamakawa R, Yasmin A, Ando T, 2011. Biosynthetic pathways of the sex pheromone components and substrate selectivity of the oxidation enzymes working in pheromone glands of the fall webworm, *Hyphantria cunea*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(6): 362–369.
- Liu H, 2021. Correlation analysis between morphological parameters and flight ability of section moths. Master's thesis. Henan: Henan Institute of Science and Technology. [刘豪, 2021. 部分蛾类成虫形态参数与飞行能力相关性分析. 硕士学位论文文. 河南: 河南科技学院.]
- Liu XB, Zheng ZJ, Zhou F, Ren LL, Luo YQ, 2017. Effects of age (in days), gender and nematode infection on the flight capacity of *Sirex noctilio*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 933–939. [刘晓博, 郑子金, 周丰, 任利利, 骆有庆, 2017. 日龄、性别及线虫侵染对松树蜂飞行能力的影响. 应用昆虫学报, 54(6): 933–939.]
- Luo LP, Wang XY, Yang ZQ, Cao ML, 2018. Research progress in the management of fall webworm, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae). *Journal of Environmental Entomology*, 40(4): 721–735. [罗立平, 王小艺, 杨忠岐, 曹亮明, 2018. 美国白蛾防控技术研究进展. 环境昆虫学报, 40(4): 721–735.]
- Martini X, Rivera M, Hoyte A, Setamou M, Stelinski L, 2018. Effect of wind, temperature, and barometric pressure on asian citrus psyllid (Emiptera: Liviidae) flight behavior. *Journal of Economic Entomology*, 6(111): 2570–2577.
- Nayar JK, Van Handel E, 1971. Flight performance and metabolism of the moth *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Insect Physiology*, 12(17): 2475–2479.
- Ren JL, Zhao L, Zhao XF, Zhao Y, 2015. Study of the flight ability of *Calliptamus italicus* (L.) *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1272–1276. [任金龙, 赵莉, 赵雄飞, 赵炎, 2015. 意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 飞行能力的研究. 应用昆虫学报, 52(5): 1272–1276.]
- Sullivan GT, Karaca I, Ozmansullivan SK, Kolarov J, 2010. Ichneumonid (Hymenoptera) parasitoids of overwintering *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) pupae in hazelnut plantations of the central Black Sea region of Turkey. *Zootaxa*, (2608): 63–68.
- Sullivan GT, Ozman-Sullivan SK, 2012. Tachinid (Diptera) parasitoids of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae) in its native North America and in Europe and Asia - A literature review. *Entomologica Fennica*, 23(4): 181–192.
- Tang JH, Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2016. Effects of age, temperature and relative humidity on free flight activity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 42(2): 79–83. [唐继洪, 程云霞, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2016. 蛾龄、温度和相对湿度对草地螟自主飞行能力的影响. 植物保护, 42(2): 79–83.]
- Wang QQ, Zhao GL, Zhang T, Wang MZ, Cao Y, Shao XL, 2019. Effects of temperature and humidity on flight capacity of *Tribolium castaneum* (Herbst) adults. *Journal of Environmental Entomology*, 41(4): 822–828. [王欠欠, 周国磊, 张涛, 汪中明, 曹阳, 邵小龙, 2019. 温湿度对赤拟谷盗成虫飞行能力的影响. 环境昆虫学报, 41(4): 822–828.]
- Wang W, Yin J, Cao YZ, Li KB, 2013. The effect of feeding and mating on the development of flight muscle in *Agrotis ypsilon*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1573–1585. [王伟, 尹姣, 曹雅忠, 李克斌, 2013. 饥饿和交配对小地老虎飞行肌发育的影响. 应用昆虫学报, 50(6): 1573–1585.]
- Xing ZL, 2014. Wing structure and mechanical properties of some species of noctuid moths. Master's thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [邢振龙, 2014. 几种夜蛾科昆虫翅膀结构和力学性能研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Yamanaka T, Tatsuki S, Shimada M, 2001. Flight characteristics and dispersal patterns of fall Webworm (Lepidoptera: Arctiidae) Males. *Environmental Entomology*, 30(6): 1150–1157.
- Yang F, Luo YQ, Huang DH, Cui XP, Yang HW, Liu XX, Shi J, 2012. A preliminary study on flight ability among Chinese population of Asian gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(28): 53–57. [杨帆, 骆有庆, 黄

- 东辉, 崔晓芑, 杨华巍, 刘信旭, 石娟, 2012. 亚洲型舞毒蛾中国地理种群飞行能力初探. 中国农学通报, 28(28): 53–57.]
- Yang ZQ, Zhang YA, 2007. Research on techniques for biocontrol of the fall webworm, *Hyphantria cunea*, a severe invasive insect pest to China. *Entomological Knowledge*, 44(4): 465–471, 622. [杨忠岐, 张永安, 2007. 重大外来入侵害虫——美国白蛾生物防治技术研究. 昆虫知识, 44 (4): 465–471, 622.]
- Yu CY, 1993. Review of the control of *Hyphantria cunea* and future control measures. *Forest Pest and Disease*, 1993 (4): 35–37. [于长义, 1993. 美国白蛾防治工作回顾及今后防治对策. 森林病虫害通讯, 1993(4): 35–37.]
- Yuan RL, Yang S, Wang XW, Hen P, 2015. Body weight fluctuations and glycogen reserve and utilization of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in its flight processes. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 313–319. [袁瑞玲, 杨珊, 王晓渭, 陈鹏, 2015. 桔小实蝇体重和糖原的积累及其飞行消耗. 环境昆虫学报, 37(2): 313–319.]
- Zhang JJ, Zhang RZ, Chen JY, 2007. Species and their dispersal ability of *Monochamus* as vectors to transmit *Bursaphelenchus xylophilus*. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007(3): 350–356. [张建军, 张润志, 陈京元, 2007. 松材线虫媒介昆虫种类及其扩散能力. 浙江林学院学报, 2007(3): 350–356.]
- Zheng ZT, Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2014. Flight ability of *Athetis lepigone*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 643–653. [郑作涛, 江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2014. 二点委夜蛾飞行行为特征. 应用昆虫学报, 51(3): 643–653.]
- Zhao XD, Geng YS, Hao DJ, Dai LL, Sun SH, 2022. Research progress and prospect of the control technology of fall webworm, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Erebidae). *Forest Pest and Disease*, 41(5): 44–52. [赵旭东, 耿慧舒, 郝德君, 代鲁鲁, 孙守慧, 2022. 美国白蛾防控技术的研究进展及展望. 中国森林病虫, 41(5): 44–52.]

封面介绍

黑带蚜蝇 *Episyrphus balteatus* (DeGeer)

黑带蚜蝇也称黑带食蚜蝇, 广布全国各地, 是双翅目 (Diptera) 食蚜蝇科 (Syrphidae) 昆虫。本期封面照片于 2009 年 8 月 6 日拍摄于北京市顺义区四滨河森林公园, 物种学名由中国农业大学杨定教授和王亮博士鉴定。

(张润志, 中国科学院动物研究所)