



崔笑雄, 麻正辉, 熊仁次, 李志雄, 姚永生. 香梨优斑螟飞行能力的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1223–1229.

香梨优斑螟飞行能力的研究

崔笑雄, 麻正辉, 熊仁次, 李志雄, 姚永生*

(塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 香梨优斑螟 *Euzophera pyriella* Yang 是新疆果树重要的蛀果蛀干害虫, 严重制约着香梨产业的发展。本研究通过昆虫飞行磨系统测定了香梨优斑螟成虫的飞行能力, 结果表明 2~5 日龄香梨优斑螟飞行能力较强, 4 日龄飞行能力最强; 吊飞 14 h, 平均飞行距离 14.37 ± 1.35 km, 平均飞行时间 9.40 ± 0.55 h, 平均飞行速度 1.59 ± 0.08 km/h。雄成虫飞行距离显著远于雌成虫, 但飞行时间和速度差异不显著。雌雄成虫取食补充营养后飞行能力均有提高, 但飞行距离和速度差异不显著。不同交配状态的香梨优斑螟飞行能力测定结果显示, 未交配成虫飞行速度和飞行距离均高于已交配成虫, 但飞行时间差异不明显。研究结果可为深入阐明香梨优斑螟飞行生物学和扩散机制提供科学依据。

关键词: 香梨优斑螟; 飞行能力; 飞行磨

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 05-1223-07

A study on the flight ability of *Euzophera pyriella* Yang

CUI Xiao-Xiong, MA Zheng-Hui, XIONG Ren-Ci, LI Zhi-Xiong, YAO Yong-Sheng* (College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: *Euzophera pyriella* Yang is an important fruit and wood-boring pests of fragrant pear orchards in Xinjiang region, which have the latent threat to fragrant pear industry. The flight ability of the adults *E. pyriella* were tested by the flying mill system in laboratory. The results showed that moths of different ages had different flight ability, the flight ability of 2~5 days old moths were stronger, whereas 4 days old moths were the best. Hoisting for 14 h, the flight distance, time and speed were 14.37 ± 1.35 km, 9.40 ± 0.55 h and 1.59 ± 0.08 km/h respectively. The flight distance of male was significantly longer than that of female, but the difference of flight time and speed were not significant. The flight ability of both male and female adults fed with nutrition were higher than that of without nutrition, but the differences of flight distance and speed were not significant. The flight speed and distance of unmatched adults were greater than mated adults, but there were no significant difference in the flight time of adults. The results of this study lay the scientific foundation for understanding the flight biology and diffusion mechanism of *E. pyriella*.

Key words: *Euzophera pyriella* Yang; flying ability; flying mill

香梨优斑螟 *Euzophera pyriella* Yang 隶属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae 斑螟亚科 Phycitinae

优斑螟属 *Euzophera*, 为新疆库尔勒香梨等林果的重要蛀干蛀果害虫 (杨集昆, 1994), 主要寄主有

基金项目: 国家自然科学基金 (31460471, 31560512, 31460098); 国家重点研发计划 (2016FYC0501400); 兵团科技攻关项目 (2019AB023)

作者简介: 崔笑雄, 男, 硕士生, 研究方向为有害生物综合治理, E-mail: 1622615042@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 姚永生, 男, 博士, 副教授, E-mail: yyszy@163.com

收稿日期 Received: 2019-09-27; 接受日期 Accepted: 2019-10-30

梨、苹果、枣、无花果、杏、巴旦杏、桃、青杨和新疆杨等 (宋美杰等, 1994, 1998; 陆承志等, 2003)。香梨优斑螟在被发现之初, 只在新疆部分地区的个别梨园危害, 现已遍布新疆各个地区的梨园, 成为为害梨树的主要害虫之一, 被害株率最高可达 100% (侯世星等, 2011), 已对新疆特色香梨产业的健康发展构成严重威胁。

目前香梨优斑螟仅分布于我国新疆 (杨明禄等, 2013), 如乌鲁木齐、塔城、博乐、伊宁、昌吉、哈密、吐鲁番、库尔勒和阿克苏等地, 国内其它地区和国外均未见有报道。侯世星等利用 CLIMEX 模型预测了香梨优斑螟在中国的潜在适生区及其适生度, 结果显示香梨优斑螟在国内适生区主要分布在河北、河南、山东、山西、陕西、宁夏、甘肃、新疆、内蒙、黑龙江、吉林、辽宁、江苏北部、安徽北部、湖北西北部、云南北部、四川大部分地区以及西藏东部的小部分地区。因此认为香梨优斑螟对中国内地梨、苹果和红枣产业具有较高的潜在威胁 (侯世星等, 2014)。

飞行扩散是昆虫长期进化过程中对生存环境的适应, 保持其种群繁衍的一种生存对策, 也是害虫异地突起致使大面积爆发虫灾的重要原因 (Dingle *et al.*, 2007)。昆虫飞行能力测定是研究昆虫飞行生物学的基础 (Campos *et al.*, 2004), 影响昆虫飞行能力的因素有很多, 包括自身生理状态 (如日龄、性别、取食、交配、生殖等) 和外界环境因子 (温度、湿度、光照等) (刘莎等, 2018)。昆虫飞行能力测定普遍采用的方法是利用昆虫飞行磨吊飞 (Kees *et al.*, 2017; 刘莎等, 2018), 准确获取昆虫飞行能力参数, 明确自身生理状态和外界环境因子对昆虫飞行能力的影响, 一直是国内外研究的热点问题 (程遐年等, 1992; 罗礼智等, 1999), 对理解害虫异地致灾、扩散蔓延、综合防治有重要的理论和实践意义。近年来对苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*、梨小食心虫 *Grapholitha molesta*、草地螟 *Loxostege sticticatis* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 的飞行能力研究较多 (Atanov *et al.*, 1991; 罗礼智, 1991; Peter *et al.*, 1997; 潘攀, 2013), 未见有关香梨优斑螟飞行能力的研究报道。本文利用昆虫飞行磨系统, 测定了香梨优斑螟成虫不同日龄、性别、营养状态、交配状态对其飞行速度、飞行距离和飞行时间等参数的影响, 旨在深入了解香梨优斑螟的飞行生物学, 为阐明扩散机制与科学防治提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 虫源及饲养

1.1.1 供试虫源及饲养

在香梨优斑螟越冬代成虫发生高峰期 (4 月下旬), 用糖醋液在塔里木大学梨园诱集香梨优斑螟成虫, 选取健康的成虫带回实验室, 用蒸馏水冲洗掉体外糖醋等成分, 放于滤纸上待其水分散失后转移至塑料杯中, 每天饲喂 10% 蜂蜜水, 产卵后收集卵块, 幼虫孵化后置于养虫盒内用人工饲料饲养建立实验种群。实验种群幼虫化蛹后, 雌雄分开放入不同的培养皿中, 培养皿中放入喷水的滤纸保持湿度。羽化的成虫, 区别雌雄, 分别放入不同的养虫笼 (75 cm × 75 cm × 75 cm) 中, 贴上标签注明羽化日期和性别供试验使用。幼虫和成虫饲养条件均为: 温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期为 L:D = 14 h:10 h。

1.2 仪器和用具

仪器设备: 昆虫飞行信息系统 (FXMD-24-USB 型, 佳多科工贸股份有限公司)、智能人工气候箱 (RXZ-280B, 宁波江南仪器厂)、加湿器 (Bear JSQ-C50X5)、空调 (美的)、温湿度计 (HTC-4)、体视显微镜 (蔡司 V20)。

用具: 塑料杯、毛笔、2 mL 离心管、5 mL 离心管、白纸、纱布、密封袋、保鲜膜、一次性手套、卫生纸、剪刀、记号笔、封口膜、镊子、记号笔、皮筋、剪刀、脱脂棉、502 胶粘、泡沫板、大头针、解剖针、解剖盘、昆虫针、生理盐水、75% 酒精。

1.3 飞行能力的测定

1.3.1 试验方法

吊飞试验参考郭江龙等的方法并做部分调整 (郭江龙等, 2016), 选取健康、能正常飞行的成虫, 装于离心管内并编号。试虫称重后用少量乙醚轻微麻醉, 然后放于有凹槽的泡沫板上展翅, 用小毛笔轻轻除去胸腹连接处的鳞毛, 用自制吊环蘸取少许 502 胶粘到试虫胸腹交接处的体壁上, 保持吊环与试虫虫体垂直, 轻轻吹气使胶快速凝固。粘虫完毕后, 用大头针连接吊环, 按照编号顺序插在泡沫板上置于吊飞室, 将试虫按照顺序套接于飞行磨吊臂末端, 保持吊环垂直于吊臂向下, 使试虫绕飞行磨中心轴在水平方向上做切线旋转。在电脑飞行磨系统上登记试虫信息并且设置飞行磨采集终止时间后启动系统。信息采集卡

自动记录并计算出测试昆虫的累积飞行时间、累积飞行距离、平均飞行速率、最大飞行速率等参数。吊飞期间保持室内完全黑暗,吊飞室温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 。

1.3.2 不同日龄香梨优斑螟成虫的飞行能力测定

成虫羽化后雌、雄分开,分别放入不同养虫笼中,饲喂 10% 蜂蜜水,分别选取 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 日龄健康的未交配(雄虫和雌虫)各 5~10 头进行测试,连续吊飞 14 h。由于吊飞过程中因多种原因造成的成虫逃脱或不正常飞行而需剔除的个体,实际测得不同日龄雌虫和雄虫各 5 头的飞行参数值。

1.3.3 不同性别龄香梨优斑螟成虫的飞行能力测定

根据 1.3.2 测试结果选取飞行能力最佳日龄健康的未交配的雌、雄成虫,饲喂 10% 蜂蜜水,雌雄成虫各取 10~15 头分别进行测试,连续吊飞 14 h,确保测定获得雌雄虫各 10 头的飞行参数值,若不满足,补充测试成虫,下同。

1.3.4 香梨优斑螟成虫不同营养状态下的飞行能力测定

根据 1.3.2 测试结果选取飞行能力最佳日龄健康的未交配的雌、雄成虫,设置饲喂 10% 蜂蜜水和清水两个处理,雌雄各选 10~15 头,分别进行测试,连续吊飞 14 h。

1.3.5 不同交配状态香梨优斑螟成虫的飞行能力测定

根据 1.3.2 测试结果选取飞行能力最佳日龄健康的未交配和已交配的雌、雄成虫,饲喂 10% 蜂蜜水,雌雄各选 10~15 头,分别进行测试,连续吊飞 14 h。香梨优斑螟成虫多在羽化后 2~5 日进行交配,选择羽化后 3 日龄雌、雄单头配对,任其自由交配。对尚未产卵的 4 日龄健康雌虫和雄虫进行测试。测试完毕后对雌虫进行卵巢解剖,通过有无精包来确定雌虫是否交配。如有精包则为交配雌虫,与其配对的则为交配雄虫,反之亦然,剔除未交配个体的测试数据。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和统计分析软件 SPSS 20.0 对数据进行处理分析。为了分析不同因素(日龄、性别、营养状态、交配状态)对香梨优斑螟成虫飞行能力的影响,使用单因素方差分析法对不同日龄成虫的飞行参数进行分析,若差异显著用 Duncan's 新复极差法进行多重比较;不同性别、不同营养状态和不同交配状态的成虫的平均飞行时间、平均飞行距离和平均飞行速率均值的差异分

析采用 t 测验。方差分析前,先对平均飞行时间、平均飞行距离、平均飞行速率的原始数据进行正态性检验,如不符合正态分布,则将数据进行平方根转换后再做统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同日龄香梨优斑螟成虫的飞行能力

香梨优斑螟成虫具有一定的飞行能力(见表 1),成虫最远的飞行距离可达 25.54 km,最长飞行时间可达 13.89 h,最大飞行速度可达 2.96 km/h。香梨优斑螟成虫的飞行能力与日龄关系密切,连续 14 h 吊飞结果表明:不同日龄成虫的飞行距离($F = 11.38$, $df_1 = 9$, $df_2 = 90$, $P < 0.01$)、飞行时间($F = 8.28$, $df_1 = 9$, $df_2 = 90$, $P < 0.01$)、飞行速度($F = 4.28$, $df_1 = 9$, $df_2 = 90$, $P < 0.01$)均存在极显著差异。1~4 日龄飞行能力逐渐增强,4 日龄达到峰值,平均飞行距离 14.37 ± 1.35 km,平均飞行时间 9.40 ± 0.55 h,平均飞行速度 1.59 ± 0.08 km/h。2~5 日龄飞行能力相对较强,此后随成虫日龄的增加,飞行能力逐渐降低,到 10 日龄成虫飞行能力最弱,平均飞行距离 5.52 ± 0.84 km,平均飞行时间 5.01 ± 0.36 h,平均飞行速度 0.79 ± 0.01 km/h。

2.2 不同性别香梨优斑螟成虫飞行能力

分别测定未交配 4 日龄香梨优斑螟雌雄成虫,连续吊飞 14 h 的飞行能力,结果表明:不同性别成虫的飞行能力存在一定的差异。雌雄个体间飞行距离间差异显著($t = 2.84$, $df = 18$, $P < 0.05$),飞行时间($t = 1.74$, $df = 18$, $P = 0.09$)和飞行速度($t = 1.25$, $df = 18$, $P = 0.11$)差异不显著。雄虫的平均飞行距离、飞行时间、飞行速度均大于雌虫(见图 1)。

2.3 香梨优斑螟成虫不同营养状态下飞行能力

分别测定未交配 4 日龄提供不同营养的香梨优斑螟雌雄成虫在 14 h 连续吊飞的飞行能力,结果表明香梨优斑螟成虫不同营养状态飞行时间存在显著差异($t = 2.25$, $df = 18$, $P < 0.05$),飞行距离($t = 1.45$, $df = 18$, $P = 0.12$)和飞行速度($t = 1.22$, $df = 18$, $P = 0.13$)间差异不显著。成虫取食 10% 蜂蜜水飞行时间、飞行速度、飞行距离均大于取食清水(图 2)。因此,香梨优斑螟成虫不同营养条件下飞行能力有差异,雌雄成虫取食补充营养后其飞行能力均有提高。

表 1 不同日龄香梨优斑螟成虫飞行参数

Table 1 Flight parameters of adults of *Euzophera pyriella* at different ages

日 (d) Age	测试头数 No. of lacewings	飞行距离 (km) Flight distance		飞行时间 (h) Flight time		飞行速度 (km/h) Flight speed	
		最大值 Max	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE	最大值 Max	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE	最大值 Max	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ SE
1	5 ♂, 5 ♀	15.23	8.21 $\pm$ 0.88 bB	10.25	6.8 $\pm$ 0.39 bB	2.55	1.22 $\pm$ 0.08 aA
2	5 ♂, 5 ♀	18.33	11.23 $\pm$ 1.23 aA	11.23	8.3 $\pm$ 0.49 aA	2.56	1.32 $\pm$ 0.09 aA
3	5 ♂, 5 ♀	20.47	13.56 $\pm$ 1.52 aA	12.34	9.3 $\pm$ 0.55 aA	2.88	1.36 $\pm$ 0.09 aA
4	5 ♂, 5 ♀	25.54	14.37 $\pm$ 1.35 aA	13.89	9.4 $\pm$ 0.55 aA	2.96	1.59 $\pm$ 0.08 aA
5	5 ♂, 5 ♀	21.12	12.32 $\pm$ 1.32 aA	11.21	9.01 $\pm$ 0.52 aA	2.87	1.21 $\pm$ 0.07 aA
6	5 ♂, 5 ♀	17.23	10.22 $\pm$ 1.18 bB	10.58	8.75 $\pm$ 0.48 aA	2.78	1.13 $\pm$ 0.06 aA
7	5 ♂, 5 ♀	13.25	8.01 $\pm$ 1.01 bB	9.33	8.09 $\pm$ 0.47 abAB	2.44	0.99 $\pm$ 0.06 aA
8	5 ♂, 5 ♀	11.56	7.21 $\pm$ 0.88 cC	8.29	7.54 $\pm$ 0.44 bB	2.35	0.93 $\pm$ 0.03 bB
9	5 ♂, 5 ♀	9.28	6.88 $\pm$ 0.84 dD	8.16	6.45 $\pm$ 0.38 bcBC	2.12	0.88 $\pm$ 0.03 bB
10	5 ♂, 5 ♀	8.63	5.52 $\pm$ 0.84 dD	7.32	5.01 $\pm$ 0.36 cC	2.05	0.79 $\pm$ 0.01 bB

注: 图中标有不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。Note: There are significant differences between different capital letters ($P < 0.01$) and different lower - case letters ($P < 0.05$). The same below.

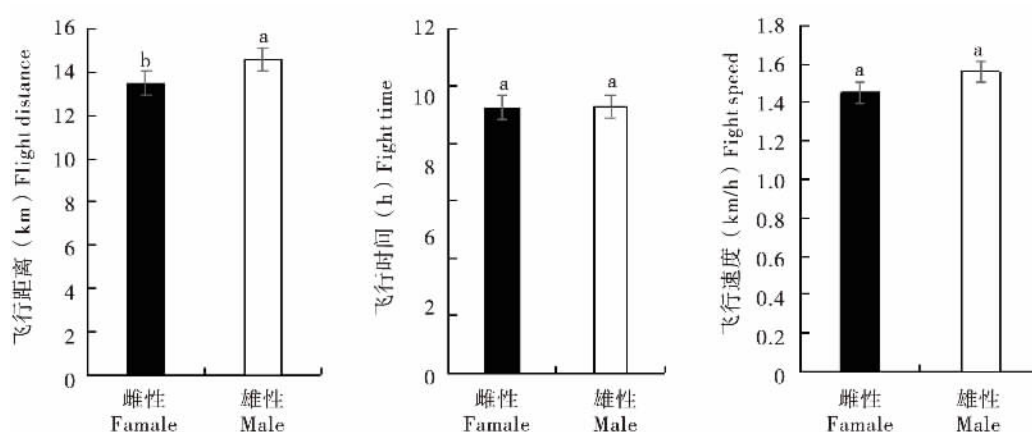


图 1 香梨优斑螟成虫飞行能力的差异

Fig. 1 Difference of flight ability between adults of *Euzophera pyriella*

注: 图中标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。Note: Different lower - case letters in the plot indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

2.4 不同交配状态香梨优斑螟成虫飞行能力

分别测定 4 日龄不同交配状态的香梨优斑螟雌雄成虫在 14 h 连续吊飞的飞行能力, 经过 t 检验结果表明: 不同交配状态香梨优斑螟成虫除飞行时间差异不显著 ($t = 1.13$, $df = 18$, $P = 0.14$) 外, 其余飞行速度 ($t = 2.13$, $df = 18$, $P < 0.05$) 和飞行距离 ($t = 2.45$, $df = 18$, $P < 0.05$) 间均存在显著差异。香梨优斑螟雌雄成虫交配之后飞行时间、飞行速度、飞行距离均小于未交配的成虫 (图 3)。

3 结论与讨论

香梨优斑螟实验室种群飞行能力的测定结果表明香梨优斑螟具有一定的飞行扩散能力, 最远飞行距离可达 25.54 km, 最长飞行时间可达 13.89 h, 最大飞行速度可达 2.96 km/h。飞行能力高于苹果蠹蛾和梨小食心虫, 略低于草地螟和稻纵卷叶螟, 远低于黄地老虎 *Agrotis segetum*、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、宽胫夜蛾 *Protoschinia scutosa*

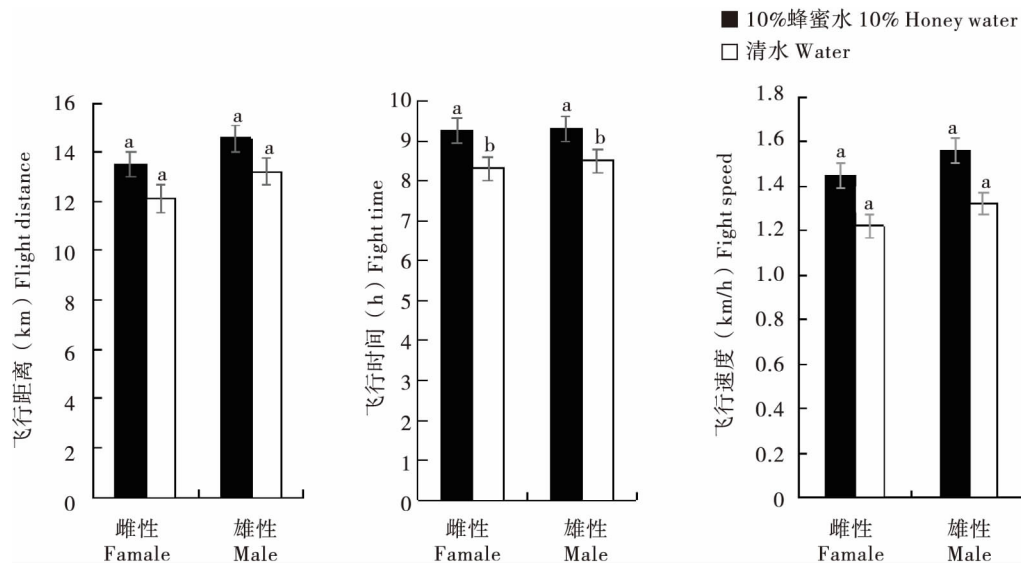


图2 不同营养状态下香梨优斑螟成虫间飞行能力的差异

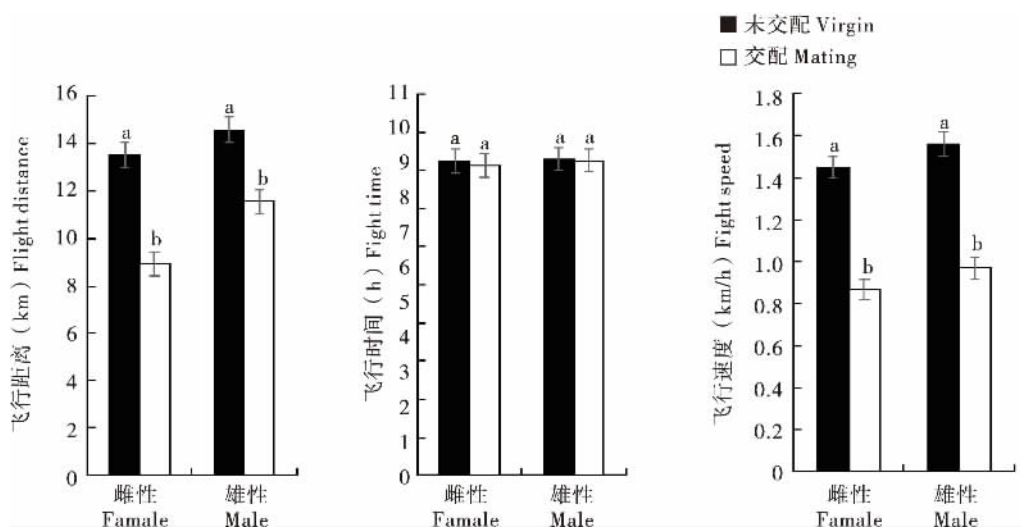
Fig. 2 Differences in flight ability between adults of *Euzophera pyriella* in different nutritional status

图3 不同交配状态下香梨优斑螟成虫间飞行能力的差异

Fig. 3 Differences in flight ability between adults of *Euzophera pyriella* in different mating states

和甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* (Atanov *et al.*, 1991; 罗礼智, 1991; Peter *et al.*, 1997; 潘攀, 2013; 郭江龙等, 2016; 吴晓等, 2016; 赵胜园, 2018; 葛世帅等, 2019)。不同日龄香梨优斑螟成虫的飞行能力有显著差别, 羽化后前几日龄, 随日龄的增加飞行能力逐渐增强, 4 日龄到达峰值, 具备较强的飞行能力, 之后随日龄的增加飞行能力逐渐下降, 10 日龄飞行能力最弱。这种飞行能力变化的规律与苹果蠹蛾、草地螟、草地贪夜蛾、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、黄地老虎、甘蓝夜蛾、二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 等昆虫相似 (Atanov *et al.*, 1991; 吴孔明等, 1996; Peter *et al.*, 1997; 郑作涛等, 2014; 郭江龙等, 2016; 吴晓

等, 2016; 葛世帅等, 2019)。羽化初期其飞行能力相对较弱, 可能与飞行肌未完全发育成熟、几丁质还未硬化、飞行有关酶活性较低、能源物质积累能力相对较弱等密切相关。随着生长发育成熟, 飞行能力逐渐提高, 2~5 日龄成虫飞行能力较强, 正好与成虫进行交配时间相一致, 之后成虫飞行能力逐渐降低, 可能与成虫体内重心转向生殖, 飞行肌和其它飞行器官退化有关 (Johnson, 1969; Sun, 2012)。

不同性别成虫的飞行能力存在一定差异, 雄虫飞行能力大于雌虫, 且在飞行距离上两者存在显著差异。虽然雌雄虫的飞行时间和飞行速度差异不显著, 但雄虫飞行时间和飞行速度均大于雌

虫。香梨优斑螟雄虫飞行能力大于雌虫,这一研究结果与苹果蠹蛾、草地贪夜蛾、黄地老虎、绿盲蝽 *Lygus lucorum*、花曲柳窄吉丁 *Agrilus marcopoli* 等不一致 (Peter *et al.*, 1997; Lu *et al.*, 2007; 王辉等, 2015; 郭江龙等, 2016; 葛世帅等, 2019)。研究表明苹果蠹蛾、草地贪夜蛾、黄地老虎飞行测定结果表明雌雄虫的飞行能力无明显差异 (Peter *et al.*, 1997; 郭江龙等, 2016; 葛世帅等, 2019), 而绿盲蝽、花曲柳窄吉丁飞行测定结果显示雌虫飞行能力大于雄虫 (Lu *et al.*, 2007; 王辉等, 2015)。一般而言, 体型较大的昆虫飞行能力相对较强, 香梨优斑螟雄虫普遍较雌虫大, 其飞行距离远于雌虫, 而绿盲蝽和花曲柳窄吉丁的雌虫飞行距离普遍大于雄虫, 这与雌雄生理或形态差异有关。

香梨优斑螟成虫取食不同营养, 飞行能力有一定差异, 取食 10% 蜂蜜水的雌雄成虫飞行能力均大于对照 (仅提供清水取食), 这说明补充营养的香梨优斑螟成虫飞行能力大于未补充营养, 研究结果与草地贪夜蛾、二点委夜蛾、花曲柳窄吉丁、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、棉铃虫等研究结果一致 (Armes *et al.*, 1991; 江幸福等, 2000; 郑作涛等, 2014; 王辉等, 2015; 郭江龙等, 2016)。昆虫的飞行需要消耗大量的能量, 成虫期取食不仅对昆虫的生殖活动有影响, 而且对昆虫的飞行活动也具有显著的影响 (贾佩华等, 1992; 吴孔明等, 1997; 江幸福等, 2000; 党志红等, 2017)。研究表明, 昆虫飞行过程中能源物质的消耗高于合成, 饥饿会加速昆虫的飞行向生殖的转变, 飞行能力显著降低, 补充营养后的昆虫, 体内能源物质相对充足, 更有利于进行飞行活动。

交配对昆虫的生殖和飞行能力具有很大的影响。不同交配状态香梨优斑螟成虫除飞行时间差异不显著外, 其飞行速度和飞行距离间均存在显著差异。香梨优斑螟雌雄成虫交配之后飞行时间、飞行速度、飞行距离均小于未交配, 这一研究结果与黄地老虎、棉铃虫和粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* 的研究结果一致 (Sharpe *et al.*, 1975; 吴孔明, 1996; 郭江龙等, 2016), 与花曲柳窄吉丁研究结果不同, 研究表明有些昆虫交配后飞行能力更强, 以利于其寻找寄主植物来产卵 (王辉等, 2015), 这可能与昆虫间的种类差异有关。雌虫一旦完成交配, 便会降低飞行能力, 寻找合适的寄主和产卵场所。在交配过程中雄虫向雌虫体内转移肽类物质、保幼激素类似物、前列腺素等多种生理效

应的物质 (华荣胜等, 2010), 从而迫使雌虫将用于飞行的能源物质转移到生殖方面, 导致已交配雌虫飞行能力下降。同时, 雄虫交配过程中也丧失了大量能源物质, 飞行能力也有所下降。此外, 交配也会导致飞行肌细胞裂解, 裂解产物转向生殖等方面加以利用 (Hanski *et al.*, 2006)。

本研究利用飞行磨于室内对香梨优斑螟实验种群飞行能力进行了初步探索, 明确了不同日龄、性别、营养状态、交配状态对成虫飞行能力的影响, 但影响梨优斑螟成虫飞行能力的因素还包括光照、温度和湿度等, 而外界自然环境复杂多变, 昆虫飞行会受到许多因素的综合影响, 因此, 所得结果可能与自然状态下的飞行能力有一定差异, 室外室内相结合, 进一步开展更为深入的研究十分必要。

参考文献 (References)

- Armes NJ, Cooter RJ. Effects of age and mated status on flight potential of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Physiological Entomology*, 1991, 16: 131–144.
- Atanov NM, Zhimerikin VN, Gvimmel ER. Migrational activity of the eastern tortrix [J]. *Zashchita Rastenii*, 1991, 12: 35.
- Campose WG, Schooreeder JH, Sperber CF. Does the age of the host plant modulate migratory activity of *Plutella xylostella*? [J]. *Entomological Science*, 2004, 7 (4): 323–329.
- Cheng YN. Research progress of migratory insects in China [J]. *Insect Knowledge*, 1992, 3: 146–149. [程延年. 中国迁飞昆虫的研究进展 [J]. 昆虫知识, 1992, 3: 146–149]
- Dang ZH, Li YF, An JJ, *et al.* Effects of different nutrition supplementation during adult stage on the fecundity of experimental population of *Spodoptera exigua* [J]. *China Plant Protection Guide*, 2017, 37 (8): 13–16. [党志红, 李耀发, 安静杰, 等. 成虫期补充不同营养对二点委夜蛾实验种群繁殖力的影响 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37 (8): 13–16]
- Dingle H, Drake VA. What is migration? [J]. *Bioscience*, 2007, 57 (2): 113–121.
- Ge SH, He LM, Wu KM, *et al.* Flying ability determination of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 1–7. [葛世帅, 何莉梅, 吴孔明, 等. 草地贪夜蛾的飞行能力测定 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 1–7]
- Guo JL, Fu XW, Zhao XC, *et al.* Study on the flight capability of the *Agrotis segetum* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 888–895. [郭江龙, 付晓伟, 赵新成, 等. 黄地老虎飞行能力研究 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 888–895]
- Hanski I, Saastamoinen M, Ovaskainen O. Dispersal – related life – history trade – offs in a butterfly metapopulation [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2006, 75 (1): 91–100.
- Hou SX, Wen JB, Pang H. Advances in the research of Xinjiang fruit tree pest *Euzophera pyriella* Yang [J]. *Forestry Science*, 2011, 47 (9): 148–152. [侯世星, 温俊宝, 庞华. 新疆果树害虫香

- 梨优斑螟研究进展 [J]. 林业科学, 2011, 47 (9): 148–152]
- Hou SX, Ma CH, Ma YC, *et al.* Measurement of the effective accumulated temperature of *Euzophera pyriella* Yang and its prediction in China's suitable habitats [J]. *China Agricultural Bulletin*, 2014, 30 (13): 304–308. [侯世星, 马聪慧, 马姝岑, 等. 香梨优斑螟有效积温测定及其在中国适生区的预测 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (13): 304–308]
- Hua RS, Qi ZL, Shi LG. Advances in insect mating factors [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2010, 26 (4): 556–559. [华荣胜, 戚志良, 时连根. 昆虫交配因子的研究进展 [J]. 科技通报, 2010, 26 (4): 556–559]
- Johnson CG. Migration and Dispersal of Insects by Flight [M]. London: Methuen, 1969: 745–763.
- Jiang XF, Luo LZ, Hu Y. Effects of adult nutrition on reproduction and flight of *Spodoptera exigua* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2000, 27 (4): 327–332. [江幸福, 罗礼智, 胡毅. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖和飞行的影响 [J]. 植物保护学报, 2000, 27 (4): 327–332]
- Jia PH, Cao YZ. Flying activities of adult *Agrotis ypsilon* [J]. *Acta Entomology Sinica*, 1992, 35 (1): 59–65. [贾佩华, 曹雅忠. 小地老虎成虫的飞翔活动 [J]. 昆虫学报, 1992, 35 (1): 59–65]
- Kees AM, Hefty AR, Venette RC, *et al.* Flight capacity of the walnut twig beetle (Coleoptera: Scolytidae) on a laboratory flight mill [J]. *Environmental Entomology*, 2017, 46 (3): 633–641.
- Lu Y, Wu, K, Guo, Y. Flight potential of *Lygus lucorum* (Meyer – Dur) (Heteroptera: Miridae) [J]. *Environmental Entomology*, 2007, 36 (5): 1007–1013.
- Lu CZ, Deng YG. Study on the occurrence and harm of *Euzophera pyriella* Yang, a fruit pest in Xinjiang [J]. *Journal of Tarim University*, 2003, 15 (4): 23–26. [陆承志, 邓永贵. 新疆果树害虫香梨优斑螟发生危害及防治的研究 [J]. 塔里木大学学报, 2003, 15 (4): 23–26]
- Liu S, Lu ZY, Gao HH, *et al.* Advances in insect flight ability [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (5): 36–43. [刘莎, 吕召云, 高欢欢, 等. 昆虫飞行能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (5): 36–43]
- Luo LZ, Jiang XF, Li KB, *et al.* The effects of *Mythimna separata* flight on reproduction and longevity [J]. *Acta Entomology Sinica*, 1999, 42 (2): 150–158. [罗礼智, 江幸福, 李克斌, 等. 粘虫飞行对生殖及寿命的影响 [J]. 昆虫学报, 1999, 42 (2): 150–158]
- Luo LZ. Study on the Flying Ability and Behavior of Adults of Different Ages of the *Loxostege sticticatis* Linnaeus [A]. Biological Invasion Branch of the Chinese Society for Plant Protection, 1991: 6. [罗礼智. 草地螟不同蛾龄成虫飞行能力和行为的研究 [A]. 中国植物保护学会生物入侵分会, 1991: 6]
- Pan P, Luo LZ, Jiang XF, *et al.* Flying behavior characteristics of *Cnaphalocrocis medinalis* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (3): 583–591. [潘攀, 罗礼智, 江幸福, 等. 稻纵卷叶螟飞行行为特征 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (3): 583–591]
- Schumacher P, Weyeneth A, Weber D, *et al.* Long flights in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: tortricidae) measured by a flight mill: Influence of sex, mated status and age [J]. *Physiological Entomology*, 2010, 22 (2): 149–160.
- Sharpe JL, McLaughlin JR, Ashley TR, *et al.* Flight ability of *Trichoplusia ni* in the laboratory [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1975, 68: 755–758.
- Song MJ, Zhou NL, Zai YD, *et al.* Preliminary studies on the *Euzophera pyriella* Yang [J]. *Plant Protection*, 1994, 20 (3): 13–15. [宋美杰, 周娜丽, 再衣东, 等. 香梨优斑螟的初步研究 [J]. 植物保护, 1994, 20 (3): 13–15]
- Song MJ, Zhou NL, Xing TH, *et al.* Occurrence regularity and control of *Euzophera pyriella* Yang [J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 1998, 1: 22–24. [宋美杰, 周娜丽, 邢虎田, 等. 香梨优斑螟发生规律及防治研究 [J]. 新疆农业科学, 1998, 1: 22–24]
- Sun BB, Jiang XF, Zhang L, *et al.* Methoprene influences reproduction and flight capacity in adults of the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2012, 82 (1): 1–13.
- Wang H, Xu ZC, Wang B, *et al.* Preliminary study on the potential flight ability of *Agrilus marcopoli* Obenberger [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2015, 37 (1): 92–97. [王辉, 许志春, Wang B, 等. 花曲柳窄吉丁潜在飞行能力初步研究 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37 (1): 92–97]
- Wu X, Fu XW, Zhao XC, *et al.* Study on flight ability of *Mamestra brassicae* Linnaeus [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (3): 595–603. [吴晓, 付晓伟, 赵新成, 等. 甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* Linnaeus 飞行能力研究 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (3): 595–603]
- Wu KM, Guo YY. Flying activities of *Helicoverpa armigera* [J]. *Journal of Ecology*, 1996, 16 (6): 612–617. [吴孔明, 郭予元. 棉铃虫的飞翔活动 [J]. 生态学报, 1996, 16 (6): 612–617]
- Wu KM, Guo YY. Effects of nutrition and larval density on flight ability of *Helicoverpa armigera* [J]. *Acta Entomology Sinica*, 1997, 40 (1): 51–57. [吴孔明, 郭予元. 营养和幼期密度对棉铃虫飞翔能力的影响 [J]. 昆虫学报, 1997, 40 (1): 51–57]
- Yang JK. Description of a new species of *Euzophera pyriella* Yang Korla (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1994, 6: 560–562. [杨集昆. 库尔勒香梨优斑螟新种记述 [J]. 华中农业大学学报, 1994, 6: 560–562]
- Yang ML, Li ZH, Jiang F, *et al.* Molecular identification of *Euzophera pyriella* Yang based on DNA barcode technology [J]. *Plant Quarantine*, 2013, 27 (4): 54–57. [杨明禄, 李志红, 姜帆, 等. 基于 DNA 条形码技术的香梨优斑螟分子鉴定 [J]. 植物检疫, 2013, 27 (4): 54–57]
- Zhao SY. Migration and Flight of *Protoschinia scutosa* in Bohai Sea Area [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018. [赵胜园. 宽胫夜蛾在渤海地区的迁飞行为研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2018]
- Zheng ZT, Jiang XF, Zhang L, *et al.* Flying behavior characteristics of *Athetis lepigone* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2014, 3: 643–653. [郑作涛, 江幸福, 张蕾, 等. 二点委夜蛾飞行行为特征 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 3: 643–653]