

温湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响*

韩海斌^{1**} 王梦圆² 刘爱萍^{1***} 于凤春³ 王世明⁴ 张爱萍⁵

(1. 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010; 2. 太仆寺旗农产品质量安全检验检测站, 宝昌 027000; 3. 锡盟太仆寺旗草原站, 宝昌 027000, 4. 临河区草原站, 临河 015000; 5. 四子王旗兽医卫生监督所 乌兰花 011800)

摘要 【目的】草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 是我国北方天然草原和人工草原上的一种重要害虫, 伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* Rondani, 是草地螟优势性寄生天敌之一, 是控制草地螟发生为害及种群动态的重要因素。研究不同温度和湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响, 探索其飞行规律, 可为利用伞裙追寄蝇田间寄生防控草地螟提供依据。【方法】通过昆虫飞行磨系统测定了不同温湿度梯度下伞裙追寄蝇雌雄蝇的飞行距离、时间、速度等飞行能力指标。【结果】不同温度条件下, 伞裙追寄蝇在 21℃ 飞行能力最佳, 飞行距离、飞行时间、平均飞行速度分别为: 5.4543 km、2.7392 h、2.2469 km/h; 不同湿度条件下, 湿度为 40% 时寄蝇飞行能力最好, 飞行距离、飞行时间、平均飞行速度分别为: 5.7043 km、2.6594 h、1.8327 km/h。【结论】在一定温度范围内, 伞裙追寄蝇的飞行能力在 21℃ 时较好, 随后其飞行能力随温度的升高而下降。在一定湿度范围内, 伞裙追寄蝇的飞行能力在湿度为 40% 时飞最好, 不同性别的伞裙追寄蝇飞行能力无显著差异。

关键词 伞裙追寄蝇, 温度, 湿度, 飞行能力, 天敌防控, 寄主搜寻

Effects of temperature and humidity on the flight capacity of *Exorista civilis* Rondani

HAN Hai-Bin^{1**} WANG Meng-Yuan² LIU Ai-Ping^{1***} YU Feng-Chun³
WANG Shi-Ming⁴ ZHANG Ai-Ping⁵

(1. Grassland Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China; 2. Taibusi Banner Agricultural Product Quality Safety Inspection Station, Baochang 027000, China; 3. Taibusi Banner Grassland Station, Baochang 027000, China; 4. Linhe Grassland Station, Linhe 015000, China; 5. Siziwang Banner Veterinary Health Supervision, Wulanhua 011800, China)

Abstract 【Objectives】 To determine the effects of temperature and relative humidity on the flight capacity of *Exorista civilis* Rondani, a potential biological control for *Loxostege sticticalis* L., an important pest of natural and artificial grasslands in northern China. 【Methods】 A flight-mill system was used to measure the flight capacity of *E. civilis* under different temperature and humidity conditions. 【Results】 The optimal flight temperature was 21℃, at which the flight distance, flight time and average flight speed were 5.4543 km, 2.7392 h and 2.2469 km/h, respectively. The optimal flight humidity was 40% RH, at which the flight distance, flight time, average flight speed were 5.7043 km, 2.6594 h and 1.8327 km/h, respectively. 【Conclusion】 The flight capacity of *E. civilis* peaked at 21℃, after which it decreased with increasing temperature. The optimal flight capacity of *E. civilis* occurred at a relative humidity of 40%. There was no significant difference between the flight capacity of males and females.

Key words *Exorista civilis*, temperature, humidity, flight capacity, natural enemies control, host searching

*资助项目 Supported projects: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103002); 农业部“948”项目(2011-G4); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(1610332016021)(1610332017002)

**第一作者 First author, E-mail: hhb.25@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuaiping806@sohu.com

收稿日期 Received: 2016-05-10, 接受日期 Accepted: 2016-11-04

伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* Rondani 属双翅目寄蝇科 (Diptera: Tachinidae), 是多主寄生性的天敌昆虫, 其主要寄主昆虫有松毛虫 *Dendrolimus* sp. (卢川川, 1976)、小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 和银纹夜蛾 *Argyrogramma agnata* Staudinger 等, 尤其是对玉米螟 *Ostrinia nubilalis* Hübner (相红燕等, 2012)、草地螟 *Loxostege sticticalis* L. (王建梅等, 2013) 粘虫 *Mythimna separata* Walker 等农业害虫有较好的防控作用, 是其幼虫上的重要优势寄生性天敌之一, 也是农、林、果、菜害虫的寄生天敌。

迁飞和扩散是大多数昆虫适应不同变化环境的一种行为方式, 该行为不仅受到体内神经系统和激素的调控, 而且主要受外界环境条件的影响。昆虫的飞行活动受温度和湿度的影响较大, 是其迁飞和扩散的诱发因子。昆虫迁飞或迁移通常会在适宜的温湿度条件下大规模起飞 (Rankin and Burchsted, 1992)。目前关于飞行能力的研究大多是一些植食性的迁飞性害虫 (Hainan and Danthanarayana, 2000; Matsubara *et al.*, 2005; Xie *et al.*, 2012; Evenden *et al.*, 2013; 刘向蕊等, 2014; 王刚等, 2014; 吴迅, 2014), 而对天敌昆虫的研究报道甚少 (苏春芳等, 2014)。天敌防治作为生物防治的一种重要手段, 其对环境保护的重要性和必要性已日趋受到专家们的重视, 天敌昆虫的飞行能力决定了其对寄主搜寻的能力, 是能否有效控制害虫的前提。通过天敌昆虫对害虫进行控制, 实现以虫治虫, 为制定相应的生物综合防治策略提供参考, 从而更好地利用天敌控制害虫, 伞裙追寄蝇作为草原重要害虫草地螟的优势天敌, 研究其飞行规律、飞行适宜环境均对草地螟防控有重要意义。

为探究温湿度对伞裙追寄蝇飞行的影响, 本文采用吊飞技术, 利用昆虫飞行磨信息采集系统测定了不同温度、湿度下伞裙追寄蝇的飞行潜能, 期望了解最适合伞裙追寄蝇成虫飞行的环境条件, 以便未来在田间大面积施用天敌昆虫伞裙追寄蝇防治草地害虫提供参考依据, 对于调整和完善害虫的防治策略具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫及其寄主来源

伞裙追寄蝇由采自河北康保县邓油坊地区的草地螟越冬虫茧中羽化得到, 两种昆虫在实验室已人工繁殖多代。伞裙追寄蝇成虫饲喂 20% 的蜂蜜水, 草地螟用灰菜 *Chenopodium album* 和苜蓿 *Medicago sativa* 饲喂, 二者均在 20~26℃, 40%~50% RH 室内饲养。本实验所用的伞裙追寄蝇为室内人工繁育的 20 代寄蝇。

1.2 吊飞处理及环境条件的控制

选择飞行能力较好的 5 日龄雌雄寄蝇进行飞行测试 (岳方正等, 2016)。实验选择成虫体型相当、体重相近的个体作为试虫。吊飞测试过程中一直保持稳定的全光照条件。

本实验采用的飞行磨系统是中国农业科学院植物保护研究所自行研制的, 测定小型昆虫飞行能力的飞行数据微机采集系统。该系统包含 10 个吊飞装置, 每个悬吊装置由飞行磨和自动计数器与计时器组成, 该系统由电脑控制, 可自动记录昆虫飞行过程中的速度、时间和距离等。

飞行测试室为小型的封闭实验室, 室内温度控制采用“格力分体落地式冷暖空气调节器”, 选取 18、21、24、27、30℃ 5 个温度梯度。湿度控制采用亚都超声波加湿器, 选取 40%、60%、80% 3 个湿度梯度。在不同温度试验时选取环境湿度, 约为 30%~40%; 不同湿度试验在 21℃ 时进行。

1.3 试验方法

将伞裙追寄蝇试虫放入干净的塑料管中, 随后将塑料管置于 -22℃ 的冰箱中 2~2.5 min, 使其在短时间内停止活动, 以便取出试虫后迅速将适量的鱼珠胶涂于试虫的背板处, 用昆虫针将其固定于飞行磨悬臂上, 注意不要将试虫的翅膀粘住, 并调整试虫到适合其飞行的角度, 打开微机进行参数设置并待伞裙追寄蝇苏醒后对飞行数据进行采集。

吊飞 10 h 后停机, 将测试结果进行保存, 每个处理选用 40 头伞裙追寄蝇进行测试, 测试

时间 8:00—18:00。

1.4 数据统计分析

对测试系统记录的数据采用 DPS 进行统计分析,经方差分析测定其显著性并利用 Duncan's 方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 温度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响

不同温度对伞裙追寄蝇飞行能力有显著影响。在一定温度范围内,飞行各项指标都有随温度升高而升高的趋势,但超过最适飞行温度范围后又表现出下降趋势。不同温度下伞裙追寄蝇雌、雄成虫间的飞行能力差异不大(表 1)。

不同温度下,5 日龄雌蝇在 21℃ 的飞行能力最强,表现为飞行距离、飞行时间、平均飞行速度的值均显著高于其它温度下的值。21℃ 下的飞行距离、飞行时间、平均飞行速度分别为:

5.4543 km、2.7392 h、1.9400 km/h。30℃ 下的飞行能力较差,飞行距离、飞行时间、平均飞行速度分别为:0.0777 km、0.0233 h、1.2500 km/h。27℃ 下伞裙追寄蝇的平均飞行速度最小,为 0.9452 km/h,与 21℃ 相比差异显著,其余温度梯度差异均不显著(表 1)。

表 2 的结果表明:不同温度梯度下,5 日龄雄蝇在 21℃ 条件下的飞行能力最好,飞行距离、飞行时间、平均飞行速度、最大飞行速度分别为:5.0303 km、2.4094 h、2.2469 km/h、5.6403 km/h。30℃ 下的飞行能力最差,飞行距离、飞行时间分别为:0.0734 km、0.0352 h。且在 18、27、30℃ 时的飞行距离、飞行时间均差异不大但与 21℃ 和 24℃ 下相比显著降低并达到差异极显著。18℃ 下其平均飞行速度最低,为 0.9886 km/h,与 30℃ 时相比差异不显著,但同 21℃ 有显著差异。说明温度超过一定范围,过高或过低都会导致伞裙追寄蝇飞行能力的下降。

表 1 不同温度下伞裙追寄蝇雌蝇的飞行能力
Table 1 Flight capacity of the female *Exorista civilis* at different temperatures

温度(℃) Temperature	飞行距离(km) Flight distance	飞行时间(h) Flight time	平均飞行速度(km/h) Average speed of flight	最大飞行速度(km/h) Maximum speed of flight
18	0.3621±0.0907bB	0.2220±0.0348bB	1.2303±0.2269bAB	3.0138±0.2916aA
21	5.4543±0.9291aA	2.7392±0.6090aA	1.9400±0.1759aA	3.0383±0.6468aA
24	0.7496±0.0816bB	0.6020±0.1219bB	1.1819±0.1194bAB	2.2025±0.4274aA
27	0.1838±0.0534bB	0.0761±0.0086bB	0.9452±0.1835bB	3.0956±1.0397aA
30	0.0777±0.0327bB	0.0233±0.0104bB	1.2500±0.2079bAB	1.4643±0.8046aA

表中数据为平均值±标准误;同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。下表同。

The data are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, while followed by the different capital letters indicate significant difference at 0.01 level. The same below.

表 2 不同温度下伞裙追寄蝇雄蝇的飞行能力
Table 2 Effect of different temperatures on flight capacity of the male *Exorista civilis*

温度(℃) Temperature	飞行距离(km) Flight distance	飞行时间(h) Flight time	平均飞行速度(km/h) Average flight rate	最大飞行速度(km/h) Maximum flight rate
18	0.7454±0.0642cC	0.3804±0.0321cC	0.9886±0.0926bB	3.4878±0.4459bcAB
21	5.0303±0.6813aA	2.4094±0.3067aA	2.2469±0.3570aA	5.6403±1.0128aA
24	2.7156±0.3368bB	1.5969±0.2789bB	1.3715±0.1540bAB	2.2933±0.1175cB
27	0.0789±0.0270cC	0.0411±0.0154cC	1.5851±0.3407abAB	1.9832±0.4511cB
30	0.0734±0.0358cC	0.0352±0.0171cC	1.1358±0.1838bB	4.4391±0.5954abAB

由表 3 可知不同温度条件下,不同性别伞裙追寄蝇的飞行能力差异不大。雌蝇平均飞行距离为 1.3655 km,飞行时间达到 0.7325 h,平均飞行速度为 1.3095 km/h,最大飞行速度达到 2.5629 km/h;雄蝇的平均飞行距离、飞行时间、平均飞行速度和最大飞行速度分别为 1.7287 km、0.8926 h、1.4656 km/h、3.5687 km/h,其飞行各项参数均未达到显著差异,即不同温度条件下,伞裙追寄蝇性别间飞行参数大体相同,变化趋势基本一致,故飞行能力差异不大。

综上所述,不同温度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响试验表明,雌雄蝇均在 21℃时飞行能力最强,且不同性别伞裙追寄蝇的飞行能力差异不显著。

2.2 湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响

由于 21℃时伞裙追寄蝇的飞行能力最好,故在做湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响时选择温度为 21℃。

不同湿度条件下(表 4),雌蝇飞行距离随湿度升高而下降,且在 40% RH 时飞行距离最大,达到了 5.7043 km,80% RH 时飞行距离最小为 0.0037 km。在 1%的检验水平上,40% RH 与 60%和 80% RH 下的飞行距离达到差异极显著 ($P<0.01$)。

不同湿度对雌蝇飞行时间的影响与飞行距离的影响变化趋势相似。在 40%相对湿度下飞行

时间达到最大,为 2.4892 h。80% RH 下飞行时间最小,为 0.0018 h。

不同湿度对雌蝇平均飞行速度的影响表现为 60% RH 下平均飞行速度最大,为 1.3284 km/h,与 40% RH 比较差异不显著 ($P>0.05$)但与 80% RH 比较差异显著,且 80% RH 下,平均飞行速度最小,为 0.9197 km/h。

伞裙追寄蝇雌蝇的最大飞行速度随相对湿度的不同发生着变化。40% RH 下最大飞行速度最大,为 3.2883 km/h。80% RH 下最大飞行速度最小,为 1.1621 km/h。

表 5 的结果表明:不同湿度条件下,雄蝇飞行距离也随湿度升高而下降,且在 40% RH 时飞行距离最大,达到了 5.5303 km,80% RH 时飞行距离最小为 0.0104 km。40% RH 与 80% RH 下的飞行距离达到差异极显著,但与 60% RH 下的飞行距离差异不显著。

不同湿度对雄蝇飞行时间的影响随湿度的增大而缩短。40%与 80%和 60% RH 下飞行时间差异极显著。40% RH 下飞行时间达到了最大,为 2.6594 h。80% RH 下飞行时间最短,为 0.0067 h。不同湿度对雄蝇的平均飞行速度有一定的影响,40%与 80% RH 下平均飞行速度差异显著,但与 60% RH 下的平均飞行速度差异不显著。40% RH 下平均飞行速度最大,为 1.8327 km/h,80% RH 下平均飞行速度最小,为 1.1088 km/h。

伞裙追寄蝇雄蝇的最大飞行速度随相对湿

表 3 不同温度下伞裙追寄蝇雌蝇与雄蝇飞行能力关系

Table 3 Relationship between flight ability and female and male of *Exorista civilis* in different temperatures

性别 Gender	飞行距离 (km) Flight distance	飞行时间 (h) Flight time	平均飞行速度 (km/h) Average flight rate	最大飞行速度 (km/h) Maximum flight rate
雌♀	1.3655±0.5006a	0.7325±0.2595a	1.3095±0.1065a	2.5629±0.3128a
雄♂	1.7287±0.4595a	0.8926±0.2303a	1.4656±0.1414a	3.5687±0.3918a

表 4 不同湿度下伞裙追寄蝇雌蝇的飞行能力 (21℃)

Table 4 Flight capacity of the female *Exorista civili* under different relative humidities

相对湿度 (%) RH	飞行距离 (km) Flight distance	飞行时间 (h) Flight time	平均飞行速度 (km/h) Average speed of flight	最大飞行速度 (km/h) Maximum speed of flight
40	5.7043±0.1765aA	2.4892±0.0487aA	1.2561±0.1465ab	3.2883±0.1841aA
60	0.0731±0.0318bB	0.0340±0.0127bB	1.3284±0.0959a	1.9791±0.2951bB
80	0.0037±0.0006bB	0.0018±0.0003bB	0.9197±0.0767b	1.1621±0.1912cB

表 5 不同湿度对伞裙追寄蝇雄蝇飞行能力的影响
Table 5 Effect of different relative humidities on flight capacity of the male *Exorista civilis*

相对湿度 (%) RH	飞行距离 (km) Flight distance	飞行时间 (h) Flight time	平均飞行速度 (km/h) Average flight rate	最大飞行速度 (km/h) Maximum flight rate
40	5.5303±0.2000aA	2.6594±0.0787aA	1.8327±0.0897aA	3.4876±0.4006aA
60	0.0437±0.0108abB	0.0217±0.0054bB	1.3083±0.1911bAB	2.4088±0.1675bAB
80	0.0104±0.0007bB	0.0067±0.0004bB	1.1088±0.1422bB	1.7508±0.3323bB

度的变化趋势与平均飞行速度相似。40% RH 下最大飞行速度最大, 为 3.4876 km/h。80% RH 下最大飞行速度最小, 为 1.7508 km/h。

由表 6 可知不同湿度条件下, 伞群追寄蝇性别间飞行能力差异不大。雌蝇的平均飞行距离、飞行时间、平均飞行速度以及最大飞行速度分别为 1.9270 km、0.6948 h、1.1681 km/h、2.1432 km/h; 雄蝇以上各飞行参数分别为 1.8615 km、0.8959 h、

1.4166 km/h、2.5491 km/h, 经数据处理发现两者飞行参数大致相同, 未达到显著水平, 即不同湿度对雌雄伞裙追寄蝇飞行能力的影响大致相同。

综合以上可知, 不同湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响较大, 40% RH 时适宜其飞行, 随着相对湿度的提高飞行能力逐渐下降, 但不同性别伞裙追寄蝇的飞行参数相近, 变化趋势基本一致, 即不同湿度下伞裙追寄蝇性别间的飞行能力差异不大。

表 6 不同湿度下伞裙追寄蝇雌蝇与雄蝇飞行能力关系
Table 6 Relationship between flight ability and female and male of *Exorista civilis* in different relative humidities

性别 Gender	飞行距离 (km) Flight distance	飞行时间 (h) Flight time	平均飞行速度 (km/h) Average flight rate	最大飞行速度 (km/h) Maximum flight rate
雌♀	1.9270±0.8072aA	0.6948±0.3499aA	1.1681±0.0788aA	2.1432±0.2899aA
雄♂	1.8615±0.7845aA	0.8959±0.3767aA	1.4166±0.1199aA	2.5491±0.2716aA

3 讨论

近年来对昆虫飞行能力的报道中大多是关于迁飞性害虫, 对迁飞性害虫飞行能力的研究, 其主要目的是为了探究其迁飞规律, 为更好地防治此类害虫为害提供依据。伞裙追寄蝇的最佳飞行距离为 5.043 km, 累计飞行时间为 2.7392 h, 平均飞行速度为 2.2469 km/h, 与二点委夜蛾 *Athetis lepigone* Moschler (郑作涛, 2014) 和亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* B.Bienko (高书晶等, 2012) 的飞行能力差距较大, 说明与迁飞性害虫相比, 伞裙追寄蝇的飞行能力较弱。此外, 同样是双翅目蝇类的飞行能力之间也是有差异的, 梁帆等(2001)对桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 的飞行能力进行了测定, 发现其最远可飞行 46.5430 km。刘吉起(2011)对家蝇 *Musca domestica* Linnaeus 的飞行能力也进行了研究, 发现家蝇飞行能力最强出现在 17 日龄, 单次最远平均飞行距离为 642.91 m。

昆虫的迁飞行为不仅与本身生理因素有关, 而且也受外界环境的影响, 尤其是温度、湿度和气压, 是其大规模起飞的重要因素。在温度测试中, 对不同温度下伞裙追寄蝇飞行距离进行比较表明, 雌雄蝇均在 21℃ 时飞行能力最佳最远, 且与其他温度梯度下的飞行距离差异极显著; 湿度在 40% RH 下飞行能力最好, 这与伞裙追寄蝇羽化时采集地的温湿度是一致的, 由此可以推测出温湿度可能为伞裙追寄蝇搜寻寄主能力的决定因素之一。但是与美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard (雷仲仁等, 2002) 的研究结果略有不同, 美洲斑潜蝇在 33℃ 下的飞行能力最强, 可能是因为美洲斑潜蝇为温室害虫, 其生活的环境温度较高的原因。不同温度对雌雄伞裙追寄蝇平均飞行速度也有显著影响, 但对雌性最大飞行速度的影响未见达到显著水平, 雄性则有一定的影响, 说明雄性对温度的变化较雌性敏感。但综合比较雌雄寄蝇的 4 个飞行特征值, 软件分析并未达到显著水平, 说明不同性别间伞裙追寄蝇的飞行能力差异不大。这与大头金蝇 *Chrysomya*

megacephala Fabricius (王俊刚等, 2008) 的研究结果一致。

由于本实验是在室内人为控制温湿度, 实验方案设计虽然尽量模拟伞裙追寄蝇生存环境条件, 但是自然条件下伞裙追寄蝇在飞行过程中受多种环境因素叠加作用, 其飞行活动远比室内复杂, 所以试验与自然条件下存在一定差异。吊飞前粘试虫时可能对其飞行能力造成一定的影响 (Vance and Roberts, 2014), 且吊飞过程中不补充任何营养, 因此室内测试伞裙追寄蝇成虫的飞行能力可能与实际结果存在差异。该实验结果在一定程度上反映温湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响趋势, 可为研究其飞行规律提供参考, 实际的飞行能力需依据野外的监测和观察数据进行综合判断。

参考文献 (References)

- Even den ML, Whitehouse CM, Sykes J, 2014. Factors influencing flight capacity of the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental Entomology*, 43(1): 187–196.
- Gao SJ, Wei YS, Termuer, Liu AP, Xu LB, Wang N, 2012. The flight ability of *Oedaleus asiaticus* and its relationship to population density. *Pratacultural Science*, 29(12): 1915–1919. [高书晶, 魏云山, 特木儿, 刘爱萍, 徐林波, 王宁, 2012. 亚洲小车蝗飞行能力及其与种群密度的关系. *草业科学*, 29(12): 1915–1919.]
- Hainan GU, Danthanarayana W, 2000. Variations in life history traits and flight capacity among populations of the light brown apple moth *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae). *Austral Ecology*, 25(6): 571–579.
- Lei ZR, Wang Y, Huang DR, Cheng DF, 2002. Influence of temperature on flight potential of *Liriomyza sativae* Blanchard. *Acta Entomologica Sinica*, 22(3): 413–415. [雷仲仁, 王音, 黄冬如, 程登发, 2002. 美洲斑潜蝇在不同温度下的飞行能力. *昆虫学报*, 22(3): 413–415.]
- Liang F, Wu JJ, Liang GQ, 2001. The first report of the test on the flight ability of oriental fruit fly. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 23(2): 259–260. [梁帆, 吴佳教, 梁广勤, 2001. 桔小实蝇飞行能力测定试验初报. *江西农业大学学报*, 23(2): 259–260.]
- Liu JQ, Cui JX, Zhang YQ, Deng TF, Zhao, XD, 2011. Comparison of sex-specific tethered flight of *Musca domestica*. *Chin. J. Vector. Biol. & Control*, 22(3): 212–214, 222. [刘吉起, 崔建新, 张玉勤, 邓天福, 赵旭东, 2011. 不同性别家蝇吊飞行为研究. *中国媒介生物学及控制杂志*, 22(3): 212–214, 222.]
- Liu XR, Lu BQ, Jin QA, Wen HB, Li CX, Yan W, Peng ZQ, Feng YY, Li XF, 2014. Flight capacity determination of a new invasive pest of *Opisina arenosella* Walker. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 35(8): 1610–1614. [刘向蕊, 吕宝乾, 金启安, 温海波, 李朝绪, 阎伟, 彭正强, 冯雨艳, 李晓飞, 2014. 新入侵害虫椰子织蛾飞行能力测定. *热带作物学报*, 35(8): 1610–1614.]
- Lu CC, 1976. The preliminary research on *Exorista civilis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 13(1): 19–20. [卢川川, 1976. 伞裙追寄蝇的初步研究. *昆虫知识*, 13(1): 19–20.]
- Matsubara K, Tojo S, Suzuki N, 2005. Age-related changes in flight muscle mass, lipid reserves and flight capacity during adult maturation in males of the territorial damselfly *Calopteryx atrata* (Odonata: Calopterygidae). *Zoological Science*, 22(5): 587–592.
- Rankin, MA, Burchsted JCA, 1992. The cost of migration in insects. *Annual Review of Entomology*, 37: 533–559.
- Su CF, Liu AP, Gao SJ, Xu LB, Xie BR, Wang HP, 2014. Influence of temperature and humidity on flight capacity of *Agrypon flexorius* Thunberg. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(5): 612–617. [苏春芳, 刘爱萍, 高书晶, 徐林波, 谢秉仁, 王惠萍, 2014. 温度和湿度对草地螟阿格姬蜂飞行能力的影响. *中国生物防治学报*, 30(5): 612–617.]
- Vance JT, Roberts SP, 2014. The effects of artificial wing wear on the flight capacity of the honey bee *Apis mellifera*. *Journal of Insect Physiology*, 65(1): 27–36.
- Wang G, Tuerxun, He J, Guo WC, 2014. Effects of different temperatures on flight capacity in rice water weevil: *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 51(3): 464–470. [王刚, 吐尔逊, 何江, 郭文超, 2014. 温度对稻水象甲飞行能力的影响. *新疆农业科学*, 51(3): 464–470.]
- Wang JG, Zhang F, Sun Z, Huang SZ, Lei CL, 2008. Flight capacity of *Chrysomya megacephala*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(3): 448–451. [王俊刚, 赵福, 孙卓, 黄绍哲, 雷朝亮, 2008. 大头金蝇的飞行能力. *昆虫知识*, 45(3): 448–451.]
- Wang JM, Liu AP, Gao SJ, Xu LB, Cui ZL, 2013. Parasitic functional response of *Exorista civilis* Rond. to *Loxostege sticticalis* L. larvae. *Chinese Journal of Grassland*, 35(5): 169–172. [王建梅, 刘爱萍, 高书晶, 徐林波, 崔智林, 2013. 伞裙追寄蝇对草地螟幼虫的寄生功能反应. *中国草地学报*, 35(5): 169–172.]
- Wu X, 2014. Study on the flight performance of adult alligator flea beetle, *Agasicles hygraphila*. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 29(1): 25–28. [吴迅, 2014. 空心莲子草叶甲飞行能力的研究. *福建农业学报*, 29(1): 25–28.]
- Xiang HY, Liu AP, Gao SJ, Xu LB, Yang FR, 2012. Selectivities of *Exorista civilis* Rond. to different hosts. *Journal of Environmental Entomology*, 34(3): 333–338. [相红燕, 刘爱萍, 高书晶, 徐林波, 杨芙蓉, 2012. 伞裙追寄蝇对不同寄主的选择性. *环境昆虫学报*, 34(3): 333–338.]
- Xie DS, Luo LZ, Sappington TW, Jiang XF, Lei Z, 2012. Comparison of reproductive and flight capacity of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae), developing from diapause and non-diapause larvae. *Environmental Entomology*, 41(5): 1199–1207.
- Yue FZ, Liu AP, Gao SJ, Wang JM, Wang MY, De WQ, Fan GM, 2016. The flight ability of *Exorista civilis* adults (Diptera: Tachinidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 32(1): 40–45. [岳方正, 刘爱萍, 高书晶, 王建梅, 王梦圆, 德文庆, 范光明, 2016. 伞裙追寄蝇成虫飞行能力测定. *中国生物防治学报*, 32(1): 40–45.]
- Zheng ZT, 2014. The interaction between flight behavior and reproduction of *Athetis lapigone* (Möschler). Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [郑作涛, 2014. 二点委夜蛾飞行与生殖的互作. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院研究生院.]