

温度和相对湿度对斑翅果蝇和黑腹果蝇飞行能力的影响

刘 莎^{1,2} 高欢欢³ 陈 浩¹ 郑 礼¹ 于 毅¹ 翟一凡^{1*}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 云南农业大学植物保护学院, 650201;

3. 山东省葡萄研究院, 济南 250100)

摘要: 为研究不同温度和相对湿度对斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* 与黑腹果蝇 *D. melanogaster* 飞行能力的影响, 了解2种果蝇的飞行规律, 利用26路昆虫飞行磨系统测试2种果蝇在不同条件下的总飞行距离、总飞行时间和平均飞行速度。结果表明, 斑翅果蝇雌虫飞行的最适宜温度为18℃, 总飞行距离达358.04 m, 总飞行时间为3 082.68 s; 雄虫更适宜在较高温度下飞行, 当温度为30℃时, 其总飞行距离和总飞行时间分别为171.37 m和3 075.89 s, 且飞行速度较快。黑腹果蝇雌虫的飞行能力在30℃时最强, 总飞行距离为702.77 m, 雄虫的最适飞行温度是18℃和24℃。当相对湿度为75%时, 斑翅果蝇雌虫的飞行能力最强, 总飞行距离为262.10 m, 总飞行时间也较长, 为1 224.12 s, 雄虫则在相对湿度44%时表现出较强的飞行能力; 当相对湿度为58%时黑腹果蝇雌、雄虫的总飞行距离均达到最大, 分别为554.30 m和514.47 m, 此条件下雌、雄虫的总飞行时间也最长, 分别为2 606.57 s和6 079.07 s。表明温度和相对湿度对2种果蝇飞行能力的影响存在差异, 低温高湿条件有利于斑翅果蝇雌虫飞行, 高温低湿条件下斑翅果蝇雄虫的飞行能力最强, 高温中湿环境下黑腹果蝇的飞行能力较强, 且黑腹果蝇的飞行能力总体上强于斑翅果蝇。

关键词: 斑翅果蝇; 黑腹果蝇; 温度; 相对湿度; 飞行能力

Effects of temperature and relative humidity on the flight ability of *Drosophila suzukii* and *Drosophila melanogaster*

Liu Sha^{1,2} Gao Huanhuan³ Chen Hao¹ Zheng Li¹ Yu Yi¹ Zhai Yifan^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China;

2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan Province, China;

3. Shandong Academy of Grape, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: To study the effects of temperature and relative humidity on the flight ability of *Drosophila suzukii* and *D. melanogaster* and understand the flight regularity of two species of *Drosophila*, the parameters for total flight distance, flight duration and average flight velocity at different temperatures and relative humidities were tested by a 26-channel computer-monitored flight-mill system. The results showed that the optimum temperature for flight of *D. suzukii* female, the total flight distance and flight duration were 18℃, 358.04 m and 3 082.68 s, respectively, and the average flight velocity was also faster. However, when the temperature was 30℃, it demonstrated that males had stronger flight ability at higher temperature, with a total flight distance and flight duration of 171.37 m and 3 075.89 s, respectively; at the same temperature, the females of *D. melanogaster* had the strongest flight ability, with a total flight distance of 702.77 m, and the optimum temperatures for males were 18℃ and 24℃. The flight

基金项目: 国家自然科学基金(31972273), 山东省自然科学基金(ZR2019MC034), 泰山产业领军人才工程(LJNY201821)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zyifan@tom.com

收稿日期: 2018-12-17

ability of *D. suzukii* females was the strongest when relative humidity was 75%, with a total flight distance and duration of 262.10 m and 1 224.12 s, respectively, while male had stronger flight ability at the relative humidity 44%. When the relative humidity was 58%, the total flight distance of *D. melanogaster* females and males were the longest (554.30 m and 514.47 m, respectively), with a flight duration of 2 606.57 s and 6 079.07 s, respectively. Therefore, the effects of temperature and relative humidity on the flight ability of the two *Drosophila* species were significantly different. The lower temperature and higher relative humidity were conducive to the flight of *D. suzukii* females, while males preferred to fly under higher temperature and lower relative humidity. High temperature and moderate relative humidity were more suitable for flight of *D. melanogaster*, and *D. melanogaster* has stronger flight ability than *D. suzukii* as a whole.

Key words: *Drosophila suzukii*; *Drosophila melanogaster*; temperature; relative humidity; flight ability

斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* 和黑腹果蝇 *D. melanogaster* 隶属双翅目果蝇科,斑翅果蝇雌虫产卵器为坚硬的锯齿状,可将卵直接产于即将成熟的樱桃、桃、葡萄、草莓、树莓、蓝莓等软皮果实内,卵孵化为幼虫后以取食果肉为害,导致果实腐烂及多种病害发生,给果园造成严重的经济损失(黄贞光等,2014;任路明等,2014;张开春等,2014)。斑翅果蝇最早在日本被发现,20世纪80年代传入美国夏威夷(Kaneshiro, 1983),2008年在美国加利福尼亚被发现后迅速扩散传播,相继在加拿大、墨西哥等地也发现该虫(Dixon et al., 2009)。近几年,在我国多个省份均已发现斑翅果蝇,现已被正式列为检疫性入侵害虫。而黑腹果蝇与斑翅果蝇不同,其发生和为害时间晚于斑翅果蝇,主要取食腐烂水果,尤其是葡萄、杨梅等,可加重病害发生程度,导致果树大量减产(van der Linde et al., 2006)。表明这2种果蝇的取食生态位存在明显差异。

对昆虫飞行能力的研究有助于了解其生长、发育及繁殖规律(王洪平等,1999),昆虫对寄主的取食行为与其迁飞路径和飞行能力也息息相关。昆虫需要在适宜的温度和湿度条件下才能飞行,而外界环境中的生物因素和非生物因素会改变昆虫的行为(姚青和张志涛,1999;江幸福和罗礼智,2008)。其中,温度和相对湿度是影响昆虫行为的主要非生物因素(Sarvary et al., 2008),其变化对迁飞昆虫的起飞、飞行以及飞行高度等也都有一定影响(张南等,2018),是诱导昆虫迁飞和扩散的主要原因(韩海斌等,2017)。例如,黏虫 *Mythimna separata* 的适宜起飞温度为11~32℃,环境温度低于8℃时黏虫并不飞行(张志涛和李光博,1985);24℃为甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 的最佳飞行温度(江幸福和罗礼

智,2010)。同时,温度也会在一定程度上影响昆虫的迁飞高度,如当温度较低时,黏虫在低空飞行,温度升高时则在较高空飞行(江幸福等,2015);低温还可引起白背飞虱 *Sogatella furcifera* 在飞行过程中骤降(蒋春先等,2014)。低温和高湿是阻碍角倍蚜 *Malaphis chinensis* 飞行能力的主要因素(张燕平等,2000);温度和相对湿度影响麦长管蚜 *Sitobion avenae* 的飞行,在适宜的温湿度范围内,随温度和相对湿度的升高其飞行速度明显加快(刘向东等,2004);低温条件下稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 迁出代种群的起飞意愿和外迁比例也明显降低(蒋春先等,2012);相对湿度过高或过低均不利于有翅大豆蚜 *Aphis glycines* 的起飞(李长锁等,2015)。斑翅果蝇和黑腹果蝇的取食时间不同,在果园取食时的温度和相对湿度也并不相同,而温湿度的差异是否会通过影响这2种果蝇的飞行能力从而导致生态位差异尚不明确,需要对两者的飞行能力进行系统研究。

本研究以斑翅果蝇和黑腹果蝇为研究对象,探索温度和相对湿度变化对这2种果蝇飞行能力的影响,明确两者适宜迁飞的温、湿度条件,以期为阐释导致这2种果蝇生态位差异的原因提供理论依据,为进一步加强斑翅果蝇和黑腹果蝇的防治及预测预报技术提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:斑翅果蝇和黑腹果蝇均来自山东省农业科学院植物保护研究所饲养的实验室种群,饲养条件为温度25±1℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D。选择体型相近的斑翅果蝇和黑腹果蝇

2日龄雌、雄成虫分别作为试验材料。

试剂及仪器:无水碳酸钾、溴化钠,天津市科密欧化学试剂有限公司;氯化钠、氯化钾,国药集团化学试剂有限公司;502胶水,市售。26路昆虫飞行磨系统主要包括飞行磨、飞行臂、小型昆虫测速仪,河南科技学院;KFR-72LW海尔分体落地式空调,青岛海尔空调器有限公司。

1.2 方法

果蝇的吊飞试验采用26路昆虫飞行磨系统进行(Beerwinkle et al., 1995; Cui et al., 2013)。首先将斑翅果蝇和黑腹果蝇2日龄成虫在冰上冷冻2 min,待试虫不动后,分别于各路飞行磨吊臂端蘸取少量502胶水,小心地粘于成虫的前胸背板处,确认头、胸、腹部和翅不受影响,待试虫稳定飞行后置于飞行磨上吊飞,1个飞行磨吊飞1只试虫。试验期间保持全光照条件,通过2个40 W节能灯提供光源,相互间隔1.5 m,垂直悬挂于飞行磨上方1 m处,光照强度为450 lx,整个飞行过程中不补充水分和营养。通过饱和盐溶液设置不同的相对湿度条件,利用长50 cm、宽35 cm、孔径3 cm的带孔塑料板将长59 cm、宽44 cm、高36 cm的透明收纳箱分为上下2层,将飞行磨4个一组放入上层,下层放入4个装有饱和盐溶液的烧杯来控制相对湿度,用长65 cm、宽50 cm的玻璃板盖紧收纳箱。在进行温度影响试验时,采用饱和盐溶液将相对湿度控制在50%~60%之间,温度设置为18、21、24、27、30℃,共5个梯度,利用海尔分体落地式空调进行控制。在进行相对湿度影响试验时,将温度控制在23~25℃,利用饱和碳酸钾、溴化钠、氯化钠、氯化钾溶液控制收纳箱内相对湿度分别为43%、58%、75%、84%,共4个梯度。吊飞试验每天从10:00—12:00开始,连续飞行10 h后人工干预停止。吊飞结束后取下吊臂,鉴定雌、雄并作记录。利用Matlab软件计算试虫在测试时间内的总飞行距离、总飞行时间和平均飞行速度。对总飞行距离在10 m以下者视为不飞行个体,飞行数据予以排除,各温、湿度条件下雌、雄成虫的有效数据均不少于10个。

1.3 数据分析

采用SPSS 19.0软件分别对不同温、湿度条件下斑翅果蝇和黑腹果蝇雌、雄虫的飞行能力进行单因素方差分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验,并采用 t 测验法分别对同一温度下雌、雄虫的总飞行距离、总飞行时间、平均飞行速度进行差

异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对斑翅果蝇和黑腹果蝇飞行能力的影响

2.1.1 不同温度下斑翅果蝇的飞行能力

不同温度下斑翅果蝇雌、雄虫的总飞行距离(雌虫: $F=6.299, P<0.01$;雄虫: $F=8.985, P<0.01$)和总飞行时间(雌虫: $F=5.881, P<0.01$;雄虫: $F=7.484, P<0.01$)均有显著差异。当温度为18℃时雌虫的总飞行距离最远,为358.04 m,总飞行时间也最长,为3 082.68 s;30℃时雄虫的总飞行距离最远,为171.37 m,总飞行时间也最长,为3 075.89 s(表1)。斑翅果蝇雌、雄虫的平均飞行速度在不同温度处理间均无显著差异(雌虫: $F=1.116, P=0.362$,雄虫: $F=0.794, P=0.535$)。

经 t 测验法检验结果表明,当温度为18℃和27℃时,斑翅果蝇雌虫的总飞行距离(18℃: $t=4.832, P<0.01$;27℃: $t=1.982, P<0.01$)和总飞行时间(18℃: $t=3.971, P<0.01$;27℃: $t=1.498, P<0.01$)显著大于雄虫,21℃下雄虫的总飞行距离($t=-2.964, P<0.01$)和总飞行时间($t=-2.432, P=0.012$)则显著大于雌虫,其它2个温度处理下雌、雄虫之间均无显著差异(总飞行距离:24℃: $t=-0.414, P=0.294$;30℃: $t=-1.366, P=0.366$ 。总飞行时间:24℃: $t=-2.583, P=0.429$;30℃: $t=-1.064, P=0.936$)。5个温度处理下雌、雄虫之间的平均飞行速度均无显著差异(18℃: $t=-0.262, P=0.855$;21℃: $t=0.531, P=0.169$;24℃: $t=2.425, P=0.379$;27℃: $t=0.213, P=0.725$;30℃: $t=0.188, P=0.403$)(表1)。

2.1.2 不同温度下黑腹果蝇的飞行能力

当温度为30℃时,黑腹果蝇雌虫的总飞行距离最远,为702.77 m,但与其它温度处理差异不显著($F=1.416, P=0.238$)。18℃时雄虫的飞行距离最远,为638.94 m,与21、24、27℃处理无显著差异,但均显著高于30℃时雄虫的飞行距离($F=3.874, P<0.01$)。随着温度不断升高,黑腹果蝇的总飞行时间先增大后减小,24℃时雌、雄虫的总飞行时间均达到最大,分别为5 136.33 s和6 079.07 s,显著长于其它温度处理(雌虫: $F=2.986, P=0.025$;雄虫: $F=9.405, P<0.01$);雌、雄虫的总飞行时间分别在27℃和30℃时最短。黑腹果蝇雌、雄虫的平均飞行速度在不同温度处理间均存在显著差异(雌虫 $F=2.610, P=0.043$;雄虫 $F=3.612, P=0.01$),雌、雄虫的平均飞行速度在

24℃时均为最小,在27℃和30℃时分别达到最大,为0.39 m/s和0.33 m/s(表2)。

经*t*测验法检验结果表明,黑腹果蝇雌虫的总飞行距离($t=4.296, P<0.01$)和总飞行时间($t=3.516, P=0.048$)在30℃显著大于雄虫,雌虫的平均飞行速度在27℃时显著大于雄虫($t=2.282, P=0.029$),其它温度处理下雌、雄虫之间的总飞行距离、总飞行时间和平均飞行速度均无显著差异(总飞行距离:18℃: $t=-0.705, P=0.502$;21℃: $t=-0.527, P=0.286$;24℃: $t=0.712, P=0.105$;27℃: $t=-0.505, P=0.960$ 。总飞行时间:18℃: $t=-1.184, P=0.837$;21℃: $t=-0.189, P=0.191$;24℃: $t=0.407, P=0.914$;27℃: $t=-1.635, P=0.196$ 。平均飞行速度:18℃: $t=1.746, P=0.188$;21℃: $t=-0.230, P=0.194$;24℃: $t=1.661, P=0.755$;30℃: $t=1.111, P=0.482$;表2)。

表1 不同温度条件下斑翅果蝇的飞行能力
Table 1 Flight ability of *Drosophila suzukii* at different temperatures

性别 Sex	温度(℃) Temperature	总飞行距离(m) Total flight distance	总飞行时间(s) Flight duration	平均飞行速度(m/s) Average flight velocity
雌虫 Female	18	358.04±73.87 a*	3 082.68±701.09 a*	0.21±0.03 a
	21	29.39±7.63 c	175.09±30.62 c	0.21±0.03 a
	24	50.02±11.74 c	288.42±78.70 c	0.28±0.04 a
	27	230.48±86.41 ab*	1 429.76±394.28 ab*	0.19±0.10 a
	30	117.21±33.94 bc	2 096.92±705.55 ab	0.21±0.04 a
雄虫 Male	18	34.21±8.11 b	403.89±216.36 b	0.22±0.03 a
	21	148.22±37.30 a*	1 173.06±387.18 b*	0.19±0.02 a
	24	57.66±14.02 b	646.88±111.18 b	0.17±0.03 a
	27	57.65±11.72 b	817.46±107.87 b	0.16±0.03 a
	30	171.37±20.48 a	3 075.89±765.51 a	0.20±0.02 a

图中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在*P*<0.05水平差异显著,*表示同一温度下雌、雄虫间经*t*测验法检验在*P*<0.05水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different temperatures at *P*<0.05 level by Duncan's new multiple range test. * indicates significant difference between female and male at the same temperature at *P*<0.05 level by *t* test.

表2 不同温度条件下黑腹果蝇的飞行能力
Table 2 Flight ability of *Drosophila melanogaster* at different temperatures

性别 Sex	温度(℃) Temperature	总飞行距离(m) Total flight distance	总飞行时间(s) Flight duration	平均飞行速度(m/s) Average flight velocity
雌虫 Female	18	520.66±100.46 a	1 630.21±326.50 b	0.37±0.03 ab
	21	508.96±110.29 a	1 934.27±478.37 b	0.31±0.02 ab
	24	598.47±63.79 a	5 136.33±1 779.22 a	0.29±0.03 b
	27	417.31±46.49 a	1 283.97±147.25 b	0.39±0.03 a*
	30	702.77±122.66 a*	1 993.34±338.77 b*	0.37±0.03 ab
雄虫 Male	18	638.94±138.67 a	2 215.14±373.90 b	0.30±0.02 a
	21	585.51±92.97 a	2 039.50±267.02 b	0.31±0.02 a
	24	514.47±102.91 a	6 079.07±1 418.45 a	0.23±0.03 b
	27	450.80±46.67 a	1 668.36±177.23 b	0.31±0.01 a
	30	182.79±41.21 b	686.10±187.78 b	0.33±0.02 a

图中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在*P*<0.05水平差异显著,*表示同一温度下雌、雄虫间经*t*测验法检验在*P*<0.05水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different temperatures at *P*<0.05 level by Duncan's new multiple range test. * indicates significant difference between female and male at the same temperature at *P*<0.05 level by *t* test.

2.2 相对湿度对斑翅果蝇和黑腹果蝇飞行能力的影响

2.2.1 不同相对湿度下斑翅果蝇的飞行能力

不同相对湿度下斑翅果蝇雌、雄虫的总飞行距离差异显著(雌虫: $F=4.776, P<0.01$;雄虫: $F=3.702, P=0.019$)。当相对湿度为75%时雌虫的总飞行距离最远,为262.10 m,总飞行时间较长,为1 224.12 s,仅次于相对湿度44%时的总飞行时间;雄虫则在相对湿度为44%时的总飞行距离最远,为165.88 m。雌、雄虫的总飞行时间随相对湿度的增加出现2个高峰值,分别出现在相对湿度为44%和75%时,雌、雄虫在相对湿度为84%时的总飞行时间最短(雌虫: $F=10.124, P<0.01$;雄虫: $F=5.199, P<0.01$)。雌、雄虫的平均飞行速度随相对湿度的变化无显著差异(雌虫: $F=1.436, P=0.247$;雄虫: $F=0.763, P=0.521$;表3)。

经 t 测验法检验结果表明,当相对湿度为75%时,斑翅果蝇雌虫的总飞行距离显著大于雄虫($t=2.161, P<0.01$),而雄虫的总飞行距离在相对湿度为84%时显著大于雌虫($t=-1.271, P<0.01$),其它相对湿度条件下雌、雄虫之间的总飞行距离均无显著差异(44%: $t=0.419, P=0.661$;58%: $t=0.128, P=0.681$)。当相对湿度为75%时,雄虫的总飞行时间显著大于雌虫($t=-0.898, P<0.01$),其它相对湿度下雌、雄虫之间均无显著差异(44%: $t=0.433, P=0.518$;58%: $t=-1.737, P=0.535$;84%: $t=-0.924, P=0.143$)。当相对湿度为58%时,雌虫的平均飞行速度为0.27 m/s,显著大于雄虫($t=2.282, P=0.029$),其余相对湿度下雌、雄虫之间均无显著差异(44%: $t=-0.019, P=0.118$;75%: $t=1.888, P=0.058$;84%: $t=0.365, P=0.105$;表3)。

表3 不同相对湿度条件下斑翅果蝇的飞行能力

Table 3 Flight ability of *Drosophila suzukii* at different relative humidities

性别	相对湿度 (%)	总飞行距离 (m)	总飞行时间 (s)	平均飞行速度 (m/s)
Sex	Relative humidity	Total flight distance	Flight duration	Average flight velocity
雌虫 Female	44	140.21±40.19 ab	1 492.17±294.43 a	0.20±0.03 a
	58	61.20±12.85 b	348.92±80.37 b	0.27±0.04 a*
	75	262.10±85.88 a*	1 224.12±163.26 a	0.26±0.05 a
	84	19.73±2.78 b	221.45±71.16 b	0.18±0.01 a
雄虫 Male	44	165.88±45.67 a	1 327.98±242.12 a	0.20±0.02 a
	58	58.84±12.93 b	564.02±90.98 b	0.17±0.02 a
	75	79.02±21.44 ab	1 651.38±427.91 a*	0.16±0.03 a
	84	33.74±11.24 b*	349.56±123.07 b	0.17±0.03 a

图中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著,*表示同一相对湿度下雌、雄虫间经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different relative humidities at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. * indicates significant difference between female and male at the same relative humidity at $P<0.05$ level by t test.

2.2.2 不同相对湿度下黑腹果蝇的飞行能力

黑腹果蝇雌虫的总飞行距离随相对湿度增加呈现先增大后减小的趋势,当相对湿度为58%时雌虫的总飞行距离最远,为554.30 m,显著高于其它相对湿度处理;雄虫在相对湿度为58%和84%时的总飞行距离较远,分别为514.47 m和488.61 m,但与其它相对湿度处理无显著差异;雌、雄虫的总飞行距离均在相对湿度为44%时最短。雌、雄虫的总飞行时间均在相对湿度为58%时达到峰值,分别为2 606.57 s和6 079.07 s,显著高于其它相对湿度处理(雌虫: $F=12.345, P<0.01$;雄虫: $F=8.389, P<0.01$)。雌、雄虫的平均飞行速度随相对湿度的增加均呈现先降低后

升高的趋势;雌虫在相对湿度为84%时的平均飞行速度最大($F=4.100, P=0.011$),为0.41 m/s,雄虫在相对湿度为58%时的平均飞行速度最小($F=3.235, P=0.030$),其它相对湿度下雄虫的平均飞行速度均为0.31 m/s(表4)。

经 t 测验法检验结果表明,仅当相对湿度为58%时,黑腹果蝇雌虫的总飞行距离大于雄虫($t=0.329, P=0.076$);其余相对湿度下雄虫的总飞行距离均大于雌虫(75%: $t=-0.138, P=0.155$;84%: $t=-1.493, P=0.181$),且在相对湿度44%时达到显著差异($t=-0.041, P=0.018$)。当相对湿度为44%时,雌虫的总飞行时间长于雄虫,但差异不显著($t=0.126, P=0.053$),其

它相对湿度下雄虫的总飞行时间均显著长于雌虫(58%: $t=-2.380$, $P<0.01$; 75%: $t=-1.058$, $P=0.040$; 84%: $t=-2.709$, $P<0.01$)。当相对湿度为84%时,雌虫的平均飞行速度显著大于雄虫($t=2.804$, $P<0.01$), 其余相对湿度下雌、雄虫之间均无显著差异(44%: $t=-0.021$, $P=0.840$; 58%: $t=1.876$, $P=0.442$; 75%: $t=2.066$, $P=0.315$;表4)。

表4 不同相对湿度条件下黑腹果蝇的飞行能力
Table 4 Flight ability of *Drosophila melanogaster* at different relative humidities

性别 Sex	相对湿度 (%) Relative humidity	总飞行距离 (m) Total flight distance	总飞行时间 (s) Flight duration	平均飞行速度 (m/s) Average flight velocity
雌虫 Female	44	273.76±35.09 b	1 105.49±163.36 b	0.31±0.02 b
	58	554.30±63.91 a	2 606.57±341.00 a	0.30±0.02 b
	75	365.78±65.68 b	1 058.57±193.48 b	0.37±0.02 ab
	84	345.12±60.79 b	937.29±106.06 b	0.41±0.03 a*
雄虫 Male	44	276.78±60.62 a*	1 070.52±216.19 b	0.31±0.03 a
	58	514.47±102.91 a	6 079.07±1 418.45 a*	0.23±0.03 b
	75	383.09±109.97 a	1 614.11±505.39 b*	0.31±0.02 a
	84	488.61±74.43 a	1 613.69±226.05 b*	0.31±0.02 a

图中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著,*表示同一相对湿度下雌、雄虫间经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different relative humidities at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. * indicates significant difference between female and male at the same relative humidity at $P<0.05$ level by t test.

3 讨论

室内昆虫飞行能力的测定常采用飞行磨系统,目前利用26路昆虫飞行磨系统已完成对棉铃虫*Helicoverpa armigera*(Beerwinkle et al., 1995)、麦长管蚜(程登发等, 2002)和淡色库蚊*Culex pipiens pallens*(Cui et al., 2013)等昆虫飞行能力的测试。本试验运用26路昆虫飞行磨系统对不同温度、相对湿度下斑翅果蝇和黑腹果蝇的飞行能力进行测试,发现适宜的温度是昆虫进行远距离飞行的必要条件。高温有利于烟粉虱*Bemisia tabaci*的飞行(Isaacs & Byrne, 1998;周福才等, 2007)。蚜虫的飞行也存在适宜温度范围,如适宜大豆蚜*Aphis glycine*飞行的温度为16~28℃(Zhang et al., 2008),稻纵卷叶螟的最适飞行温度为26℃(杨帆和翟保平, 2016)。27℃为黏虫蛾的最佳飞行温度,其次为24℃,其在33℃时的飞行能力最弱(江幸福等, 2000)。在一定温度范围内,稻水象甲*Lissorhoptrus oryzophilus*的飞行能力随温度的升高先增强后减弱,25℃时飞行能力最强(王刚等, 2014)。本研究中,2种果蝇的飞行能力随温度变化也有波动,但雌、雄虫之间均存在差异,当温度为18℃时,斑翅果蝇雌虫的飞行能力最强,雄虫在30℃时飞行能力最强;黑腹果蝇雌虫在高温条件下总飞行距离和平均飞行速度最大,而雄虫的适宜

飞行温度为18℃。表明斑翅果蝇的雌虫适宜在低温下飞行,高温条件较有利于雄虫飞行,黑腹果蝇则相反。另外,高温还会严重抑制黏虫蛾飞行能源物质的利用(蔡彬等, 2002),而温度是否会对2种果蝇的飞行肌和飞行能源物质产生影响进而影响其飞行能力有待进一步研究。

相对湿度也会在一定程度上影响昆虫的飞行能力。当大气湿度超过50%时,稻纵卷叶螟的迁入量增加(王翠花等, 2006);相对湿度为70%~85%时最适合黏虫迁飞(曹雅忠等, 1995);相对湿度为60%~90%时大豆蚜飞行能力最强(Zhang et al., 2008);橘小实蝇*Bactrocera dorsalis*最适宜飞行的相对湿度范围为60%~70%(袁瑞玲等, 2016)。本研究发现,斑翅果蝇适宜在高湿环境下飞行,中湿条件更有利于黑腹果蝇飞行,相对湿度太高会抑制2种果蝇的飞行。斑翅果蝇和黑腹果蝇的为害时期不同,前者主要取食刚成熟的果实,后者主要取食腐烂果实(Mitsui et al., 2006),可见两者的取食生态位存在明显差异,而且2个为害时期环境的温、湿度条件也存在差异。本试验结果也证明了上述观点,斑翅果蝇雌虫更适宜在低温高湿条件下飞行,雌虫在18℃时飞行能力最强,此后随温度升高开始下降,当温度为27℃时飞行能力又增强;高温中湿时黑腹果蝇雌虫的飞行能力更强。斑翅果蝇的最佳产卵温度为22~

25℃(刘佩旋,2017),本研究中斑翅果蝇雌虫的飞行能力在18℃和27℃增强可能与其寻找合适的寄主环境产卵有关。黑腹果蝇的飞行能力强于斑翅果蝇,斑翅果蝇雌虫为更好地寻找合适的寄主和环境繁衍后代、避免种间竞争,需要耐受较低温环境。

由于本试验中的吊飞室内无风,且整个过程无水分和营养补充,温、湿度条件均由人为控制,与2种果蝇在自然环境条件下的飞行活动存在一定差异,今后应该在室外开展昆虫飞行能力的测试,并与室内试验结果进行比较,从而进一步完善室内吊飞条件,更好地反映真实的飞行能力。尽管如此,本试验可为整体上了解2种果蝇的飞行规律提供重要的理论参考。

参 考 文 献 (References)

- Beerwinkle KR, Lopez JD, Cheng D Jr., Lingren PD, Meola RW. 1995. Flight potential of feral *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) males measured with a 32-channel, computer-monitored, flight-mill system. *Environmental Entomology*, 24(5): 1122–1130
- Cai B, Jiang XF, Luo LZ, Cao YZ, Liu YQ. 2002. Influences of temperature and humidity on utilization of energy substances during flight in the moths of oriental armyworm, *Mythimna separate* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*, 22(7): 1068–1074 (in Chinese) [蔡彬, 江幸福, 罗礼智, 曹雅忠, 刘悦秋. 2002. 温、湿度对粘虫蛾飞行能源物质利用的影响. *生态学报*, 22(7): 1068–1074]
- Cao YZ, Huang K, Li GB. 1995. The effects of relative humidity on flying activity of adult oriental armyworm. *Journal of Plant Protection*, 22(2): 134–138 (in Chinese) [曹雅忠, 黄葵, 李光博. 1995. 空气相对湿度对粘虫飞翔活动的影响. *植物保护学报*, 22(2): 134–138]
- Cheng DF, Tian Z, Li HM, Sun JR, Chen JL. 2002. Influence of temperature and humidity on the flight capacity of *Sitobion avenae*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(1): 80–85 (in Chinese) [程登发, 田喆, 李红梅, 孙京瑞, 陈巨莲. 2002. 温度和湿度对麦长管蚜飞行能力的影响. *昆虫学报*, 45(1): 80–85]
- Cui JX, Li SJ, Zhao P, Zou FM. 2013. Flight capacity of adult *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae) in relation to gender and day-age. *Journal of Medical Entomology*, 50(5): 1055–1058
- Dixon WN, Steck GJ, Dean D. 2009. Spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), a fruit pest new to North America. *Insect Pest Control Newsletter*, (70): 38
- 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* Rondanni. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 237–242 (in Chinese) [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]
- Huang ZG, Liu CL, Li M, Zhao GR, Li YH. 2014. The development situation of sweet cherry industry in China and abroad during recent two decades and prognostication for the future. *Journal of Fruit Science*, 31(S1): 1–6 (in Chinese) [黄贞光, 刘聪利, 李明, 赵改荣, 李玉红. 2014. 近20年国内外甜樱桃产业发展动态及对未来的预测. *果树学报*, 31(S1): 1–6]
- Isaacs R, Byrne DN. 1998. Aerial distribution, flight behaviour and eggload: their interrelationship during dispersal by the sweet potato whitefly. *Journal of Animal Ecology*, 67(5): 741–750
- Jiang CX, Sun J, Qi HH, Zhang YH, Cheng DF. 2014. Analysis of the source areas of the early immigration of rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* in Xing'an, Guangxi. *Journal of Plant Protection*, 41(3): 270–276 (in Chinese) [蒋春先, 孙健, 齐会会, 张云慧, 程登发. 2014. 广西兴安地区稻纵卷叶螟早期迁入虫源分析. *植物保护学报*, 41(3): 270–276]
- Jiang CX, Yang XL, Qi HH, Zhang YH, Cheng DF. 2012. A case study of radar observation of the rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) migration in southern China. *Scientia Agricultura Sinica*, 45(23): 4808–4817 (in Chinese) [蒋春先, 杨秀丽, 齐会会, 张云慧, 程登发. 2012. 中国华南地区稻纵卷叶螟迁飞的一次雷达观测. *中国农业科学*, 45(23): 4808–4817]
- Jiang XF, Luo LZ. 2008. Regulation basis and perspectives on insect migration. *Acta Ecologica Sinica*, 28(6): 2835–2842 (in Chinese) [江幸福, 罗礼智. 2008. 昆虫迁飞的调控基础及展望. *生态学报*, 28(6): 2835–2842]
- 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 (in Chinese) [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, Hu Y. 2000. Influences of rearing temperature on flight and reproductive capacity of adult oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*, 20(2): 288–292 (in Chinese) [江幸福, 罗礼智, 胡毅. 2000. 饲养温度对粘虫飞行和生殖能力的影响. *生态学报*, 20(2): 288–292]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ. 2015. Changes of body temperature and respiration rate during fixed flight of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Plant Protection*, 42(6): 1020–1024 (in Chinese) [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智. 2015. 粘虫蛾飞行过程中体温及呼吸强度变化. *植物保护学报*, 42(6): 1020–1024]
- Kaneshiro KY. 1983. *Drosophila* (*Sophophora*) *suzukii* (Matsumura). *Proceeding of the Hawaiian Entomological Society*, 24(2/3): 179
- Li CS, Yu H, Wang X, Hu XP. 2015. Effects of different temperature and humidity conditions on the occurrence and migration of soybean aphids. *Modernizing Agriculture*, (6): 1–2 (in Chinese) [李长锁, 于涵, 王欣, 胡喜平. 2015. 不同温湿度条件对大豆蚜发生及迁飞的影响. *现代化农业*, (6): 1–2]
- Liu PX. 2017. The preliminary investigation of *Drosophila suzukii* in Liaoning and the research of its reproduction ability. Master Thesis. Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese) [刘佩旋. 2017. 辽宁省部分地区斑翅果蝇发生情况与繁殖力

- 的研究. 硕士学位论文. 沈阳: 沈阳农业大学]
- Liu XD, Zhai BP, Zhang XX. 2004. Advance in the studies of migration of aphids. *Entomological Knowledge*, 41(4): 301–307 (in Chinese) [刘向东, 翟保平, 张孝羲. 2004. 蚜虫迁飞的研究进展. *昆虫知识*, 41(4): 301–307]
- Mitsui H, Takahashi KH, Kimura MT. 2006. Spatial distributions and clutch sizes of *Drosophila*, species ovipositing on cherry fruits of different stages. *Population Ecology*, 48(3): 233–237
- Ren LM, Qin SN, Ding XT, Wan FH, Chu D. 2014. Research on the invasion and control of a fruit insect pest, *Drosophila suzukii* (Matsumura). *Journal of Biosafety*, 23(3): 142–150 (in Chinese) [任路明, 秦胜楠, 丁心婷, 万方浩, 褚栋. 2014. 水果害虫铃木氏果蝇的入侵及其防控研究进展. *生物安全学报*, 23(3): 142–150]
- Sarvary MA, Hight SD, Carpenter JE, Bloem S, Bloem KA, Dorn S. 2008. Identification of factors influencing flight performance of field-collected and laboratory-reared, overwintered, and nonoverwintered cactus moths fed with field-collected host plants. *Environmental Entomology*, 37(5): 1291–1299
- van der Linde K, Steck GJ, Hibbard K, Birdsley LS, Alonso LM, Houle D. 2006. First records of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae), a pest species on commercial fruits from Panama and the United States of America. *Florida Entomologist*, 89(3): 402–404
- Wang CH, Bao YX, Wang JQ, Zhai BP, Xiang Y. 2006. Atmospheric water vapor conditions of *Cnaphalocrocis medinalis* outbreak in 2003. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(9): 1693–1698 (in Chinese) [王翠花, 包云轩, 王建强, 翟保平, 向勇. 2006. 2003年稻纵卷叶螟大发生的水汽条件分析. *应用生态学报*, 17(9): 1693–1698]
- Wang G, Tu EX, He J, Guo WC. 2014. Effects of different temperatures on flight capacity in rice water weevil: *Lissorhynchus oryzae* Kuschel. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 51(3): 464–470 (in Chinese) [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 HP, Hu ZD, Wang YZ. 1999. The new techniques of data collecting from the flight mill and the data processing. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 30(3): 281–284 (in Chinese) [王洪平, 胡振东, 王荫长. 1999. 昆虫吊飞数据采集与处理新技术的研究. *沈阳农业大学学报*, 30(3): 281–284]
- Yang F, Zhai BP. 2016. Influence of temperature on the re-migratory flight performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Ecologica Sinica*, 36(7): 1881–1889 (in Chinese) [杨帆, 翟保平. 2016. 温度对稻纵卷叶螟再迁飞能力的影响. *生态学报*, 36(7): 1881–1889]
- Yao Q, Zhang ZT. 1999. Advance of the migratory insects. *Entomological Knowledge*, 36(4): 239–243 (in Chinese) [姚青, 张志涛. 1999. 迁飞昆虫的研究进展. *昆虫知识*, 36(4): 239–243]
- Yuan RL, Yang S, Feng D, Wang YX, Wang XW, Chen P. 2016. Effects of temperature, humidity and light on the flight ability of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 903–911 (in Chinese) [袁瑞玲, 杨珊, 冯丹, 王艺璇, 王晓渭, 陈鹏. 2016. 温度、湿度、光照对桔小实蝇飞行能力的影响. *环境昆虫学报*, 38(5): 903–911]
- Zhang KC, Yan GH, Guo XJ, Wang J, Zhang XM, Zhou Y. 2014. Research review on spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*). *Journal of Fruit Science*, 31(4): 717–721 (in Chinese) [张开春, 闫国华, 郭晓军, 王晶, 张晓明, 周宇. 2014. 斑翅果蝇(*Drosophila suzukii*)研究现状. *果树学报*, 31(4): 717–721]
- Zhang N, Xie XC, Cheng WN, Wu JX, Li YP. 2018. Effects of high- or low-temperature treatment time on energy material and flight capacity in the adults of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Plant Protection*, 45(2): 243–250 (in Chinese) [张南, 解幸承, 成卫宁, 仵均祥, 李怡萍. 2018. 高、低温处理时间对东方粘虫成虫能源物质及飞行能力的影响. *植物保护学报*, 45(2): 243–250]
- Zhang Y, Wang L, Wu KM, Wyckhuys KAG, Heimpel GE. 2008. Flight performance of the soybean aphid, *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) under different temperature and humidity regimens. *Environmental Entomology*, 37(2): 301–306
- Zhang YP, Su JR, Chen BS. 2000. The migration period and reproduction of *Malaphis chinensis*. *Journal of forestry engineering*, 14(1): 23–24 (in Chinese) [张燕平, 苏建荣, 陈宝珊. 2000. 角倍春迁蚜的迁飞期与生殖. *林业工程学报*, 14(1): 23–24]
- Zhang ZT, Li GB. 1985. A study on the biological characteristics of the flight of the oriental armyworm [*Mythimna separata* (Walker)] moth. *Journal of Plant Protection*, 12(2): 93–100 (in Chinese) [张志涛, 李光博. 1985. 粘虫飞翔生物学特性初步研究. *植物保护学报*, 12(2): 93–100]
- Zhou FC, Wang Y, Ren SX, Zhu SD, Zhou ZH. 2007. Flight behaviors of *Bemisia tabaci* and corresponding IPM strategies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(2): 451–455 (in Chinese) [周福才, 王勇, 任顺祥, 祝树德, 周泽华. 2007. 烟粉虱的飞行行为与害虫综合治理策略. *应用生态学报*, 18(2): 451–455]

(责任编辑: 李美娟)