不同日龄及交配前后小菜蛾飞行能力*

魏书军[1]** 范 潇[2] 顾 耘[2] 王泽华[1] 宫亚军[1] 金桂华[1] 石宝才[1]***

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所 北京 100097;
2. 青岛农业大学农学与植物保护学院 青岛 266109)

摘 要 国内外研究表明小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)具有迁飞现象。飞行能力的测定是了解其迁飞规律的重要基础。本研究利用飞行磨对不同日龄以及交配前后的小菜蛾飞行能力进行了研究。结果表明,不同日龄的小菜蛾雌虫飞行能力有差异,第1日龄飞行能力最弱,第3日龄飞行能力最强,12 h内最大飞行距离为10 546 m,最长飞行时间为11.613 h;不同日龄的雄虫的飞行能力差异不明显,最大飞行距离为13 191 m,最长飞行时间为12 h;交配与否对雌雄虫的飞行能力的影响不明显。吊飞对小菜蛾的寿命及繁殖能力有较大的影响,吊飞后的寿命缩短,产卵量减少;吊飞前交配与否对存活及繁殖能力的影响不显著。

关键词 小菜蛾, 飞行能力, 飞行磨, 寿命, 繁殖能力

Preliminary study of the effect of age and mating on the flight ability of the diamondback moth *Plutella xylostella*

WEI Shu-Jun[1]** FAN Xiao[2] GU Yun[2] WANG Ze-Hua[1] GONG Ya-Jun[1]
JIN Gui-Hua[1] SHI Bao-Cai[1]***

(1. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;
2. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract The diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), has been proven to be a migratory pest. The study of its flight ability is essential to understanding its pattern of migration. Here, the flight ability of 1, 3, 5 and 7 day old moths, and mated and unmated moths, were tested using a flight mill in a laboratory. The results show that female moths of different ages had different flight ability. One-day old moths were the worst fliers, whereas 3 day old moths were the best, with a longest flight distance of 10 546 m and flight duration of 11.613 h within 12 successive hours. There was no difference in the flight ability of males of 1, 3, 5 and 7 days of age; their longest flight distance was 13 191 m and flight duration was 12 h. Neither was there any difference in the flight ability of mated and unmated male and female moths. The longevity and fecundity of moths were reduced after flight. However, there was no difference in the post-flight longevity and fecundity of mated and unmated moths.

Key words *Plutella xylostella*, flight ability, flight mill, longevity, fecundity

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)是世界范围内十字花科蔬菜上的重要害虫(Talekar and Shelton, 1993)。该虫在我国各地均有发生,以南方各省广大蔬菜产区和西部油菜产区发生较为严重,在北方呈上升趋势(马春森等,2010)。

国内外报道小菜蛾具有迁飞习性(Chapman *et al.*, 2002; Campos *et al.*, 2004, 2006; Li *et al.*, 2006)。早期的关于小菜蛾迁飞的证据来自对田间种群发生动态的观察。例如根据英国小菜蛾成虫突然暴发的现象,推测小菜蛾随着气流从苏联

* 资助项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB119004);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX201104009);北京市科技计划项目(Z0906050060009017);北京市科技新星计划(2010B027);北京市优秀人才培养资助(2010D002020000010);公益性行业科研专项(201103021)。

** E-mail: shujun268@163.com

*** 通讯作者,E-mail:shibaocai@sohu.com

收稿日期:2011-11-15,接受日期:2011-12-26

南部迁入(French and White,1960;French,1967)。巴西和日本等报道本地小菜蛾种群数量在春季突然上升,推测本地小菜蛾的种群是迁飞而来的(Kohno *et al.*,2004);在温带较寒冷地区及高寒地区,小菜蛾能否正常越冬一直存在很大的争议(马春森等,2010)。大量研究已经证明小菜蛾在日本的北海道、本州岛的北陆和东北大部分地区、加拿大西部和安大略地区不能越冬(Honda,1992)。国内,关于小菜蛾在北方地区的越冬、耐寒性和过冷却点等方面已经开展了研究(陈非洲和刘树生,2004)。冯夏等(2011)研究表明,我国武汉至驻马店区域为小菜蛾的越冬北限,由此推测,该区域以北的小菜蛾是从外地迁飞而来的;高空检测技术的发展进一步证实了小菜蛾的迁飞现象。Chu(1986)报道了在太平洋离陆地 500 000 m 的洋面上捕获小菜蛾的记录。英国科学家利用垂直雷达检测和高空网捕获的方法证实了小菜蛾借助风力从荷兰迁飞到英格兰南部,从而建立当地种群(Chapman *et al.*,2002)。程登发等(2005)利用姊妹灯诱虫器和扫描昆虫雷达在廊坊地区诱捕到高空中的小菜蛾。

飞行能力测定是研究迁飞规律的重要基础(Campos *et al.*,2004)。小菜蛾的飞行能力受自身的条件状况、季节变化和环境因素的影响。马春森等对雌蛾和雄蛾的飞行能力进行了比较(马春森和陈瑞鹿,1991)。Shirai(1993a,1993b,1995)发现小菜蛾夏季采集的种群的飞行时间和飞行距离短于秋季种群。较低温度下饲养的小菜蛾具有个体大、前翅长和寿命长的特点,其飞行能力较前翅短者强,更适于长距离飞行。但是,光周期对小菜蛾的飞行时间和距离没有影响(Shirai,1993b)。用野生寄主饲养的小菜蛾中,小个体雌蛾繁殖能力低,但拥有很高的飞行能力(Muhamad *et al.*,1994)。用野生十字花科寄主植物饲养的小菜蛾比用甘蓝饲养的具有更强的飞行能力,并且雄蛾比雌蛾飞行时间更长,距离更远(Begum *et al.*,1996)。飞行对随后雌蛾的繁殖有影响,更多的飞行没有延迟产卵,但会减少产卵量(Shirai,1995)。

然而,目前关于小菜蛾远距离迁飞的规律仍然知之甚少。研究小菜蛾的飞行能力,对于证实我国北方寒冷地区的小菜蛾是否由南方温暖地区迁徙而来,研究其迁飞规律具有的参考价值。本研究对不同日龄、不同性别以及交配与未交配小菜蛾的飞行能力以及飞行对小菜蛾寿命和产卵量的影响进行了研究。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及其基本生物学习性

本研究用的小菜蛾采自北京市大兴区甘蓝地,幼虫在室内用外径 23 cm、高 12 cm 的玻璃养虫缸内使用花椰菜菜叶进行饲养至化蛹。待小菜蛾化蛹后将蛹用镊子轻轻挑出,单头蛹放入 50 mL 离心管中饲养,成虫羽化后待用。其余成虫用有机玻璃养虫笼饲养(长 × 宽 × 高为:34 cm × 26 cm × 34 cm),并在养虫笼中放入小白菜苗收集虫卵,以做继代饲养。饲养环境温度为(25 ± 1)℃,光周期 L∶D = 16∶8,相对湿度控制在 70% 左右。

离心管饲养的小菜蛾羽化后立即雌雄配对让其交配,24 h 后分开饲养,并在放有雌虫的管中放入一小片花椰菜叶片。适量添加 10% 的蜂蜜水为小菜蛾补充营养,每日观察产卵量和雌雄虫的存活情况。

1.2　不同日龄未交配小菜蛾的飞行能力

分别挑取羽化 1、3、5 和 7 日龄的健康的小菜蛾雌雄虫各 30 头左右,在佳多昆虫飞行信息系统的小磨上进行测试。测试时先将乙醚棉球放入养虫离心管内 5 ~ 10 s,待小菜蛾轻微麻醉后,取出乙醚棉球和小菜蛾。用细毛笔轻轻除去小菜蛾胸腹连接处的鳞片和毛。将飞行磨吊臂取下,在臂的末端用速干胶(石家庄神通胶粘剂厂生产)粘上一小段头发,然后在头发的末端粘上少量的速干胶,迅速将小菜蛾的前胸背板与头发丝相连,并确认小菜蛾的头胸部、腹部和翅基部未受到影响。将带有小菜蛾的飞行臂放回飞行磨上,让小菜蛾绕中轴作切线旋转,并通过飞行磨软件系统采样数据。所有试验在密闭完全黑暗的条件下进行,温度为(25 ± 1)℃,相对湿度为 70% 左右。

小菜蛾飞行 12 h 后停止数据采集,查看吊臂上小菜蛾的存活情况。用剪刀轻轻剪断头发将存活的小菜蛾取下,雌雄配对饲养于 50 mL 离心管中,管中放入一小片花椰菜叶片诱集虫卵。不进行配对的小菜蛾单独用离心管饲养,在饲养雌虫的管内放置一小片花椰菜叶片收集虫卵。饲养雄虫的管内不放置叶片,每天适量添加 10% 蜂蜜水。每天查看管中小菜蛾的存活及雌虫的产卵情况。

1.3 交配后雌雄虫的飞行能力

化蛹后的小菜蛾用 50 mL 离心管单头饲养，待成虫羽化后即雌雄配对 24 h，喂食 10% 蜂蜜水。将交配过的雌雄虫分别在飞行磨上测试飞行能力。待飞行 12 h 后停止采样数据，查看吊臂上小菜蛾的存活。存活的小菜蛾取下置于 50 mL 离心管中继续饲养，每天查看存活及雌虫的产卵情况。

2 结果与分析

2.1 试验虫源在正常条件下的存活和繁殖能力

营养条件适宜时交配后小菜蛾雌虫的寿命可长达 57 d，雄虫可达 40 d，平均存活 16.7 d。未交配的雌虫平均存活天数为 23 d。成虫每日最大产卵量 65 粒，最大产卵总量为 220 粒，平均产卵量为 69.2 粒（表 1）。

2.2 不同日龄小菜蛾飞行能力测定及吊飞对其存活和繁殖能力的影响

2.2.1 不同日龄小菜蛾的飞行能力 对不同日龄不同性别小菜蛾的平均飞行距离、平均飞行时间、最远飞行距离、最长飞行时间进行比较分析（表 2，累计飞行距离 <5 m 时，认为是不飞行的个体，不在统计范围内，由于处理内不同个体的飞行能力差异较大，再将不同日龄的每头雌蛾和雄蛾的平均飞行距离和平均飞行时间从小到大排序，然后做成折线图进行比较其飞行能力的强弱（图 1 ~图 4）。第 1 日龄雌蛾平均飞行距离和平均飞行时间与其他 3 个日龄雌蛾之间差异显著，而第 3、5 和 7 日龄之间差异不显著。所有测试的 4 个日龄的雄蛾平均飞行距离和平均飞行时间差异均不显著。可见羽化 7 日之内，雌蛾的飞行能力受日龄的影响，而雄蛾不受影响。第 1 日龄雌蛾和雄蛾的平均飞行距离、平均飞行时间、最远飞行距离和最长飞行时间在测试的 4 个日龄中均为最小。第 3 日龄雌蛾平均飞行距离和平均飞行时间均最大，分别为 3 518 m 和 5.915 h，雄蛾的最长飞行时间最长，为 12 h。第 5 日龄雌蛾的最大飞行距离最大，为 13 237 m。可见，第 3 日龄的小菜蛾具有较强的飞行能力，第 5 日龄和第 7 日龄的小菜蛾飞行能力差异不显著，但低于第 3 日龄而高于第 1 日龄，第 1 日龄小菜蛾的飞行能力较差（表 2）。

2.2.2 不同日龄小菜蛾吊飞后的存活与繁殖能力 小菜蛾长时间飞行需要消耗大量能量，对其寿命和繁殖能力均有较大影响。不同日龄小菜蛾雌虫吊飞 12 h 后的寿命及产卵情况见表 3。从表 3 中可以看出，不同日龄的雌蛾吊飞后的平均存活时间由长到短依次为：第 3 日龄 > 第 1 日龄 > 第 5 日龄 > 第 7 日龄。第 3 日雌蛾龄存活时间最长，为 7.28 d，平均产卵量最大，为 40.83 粒/头。第 7 日龄雌蛾平均存活时间最短，为 3.15 d，平均产卵量最少，为 24.86 粒/头。吊飞后的小菜蛾最长可以存活 24 d，交配过的小菜蛾吊飞后的最大产卵量达到 171 粒/头；不同日龄的雄蛾吊飞后第 1 和第 3 日龄的平均存活时间较其他 2 个日龄长。第

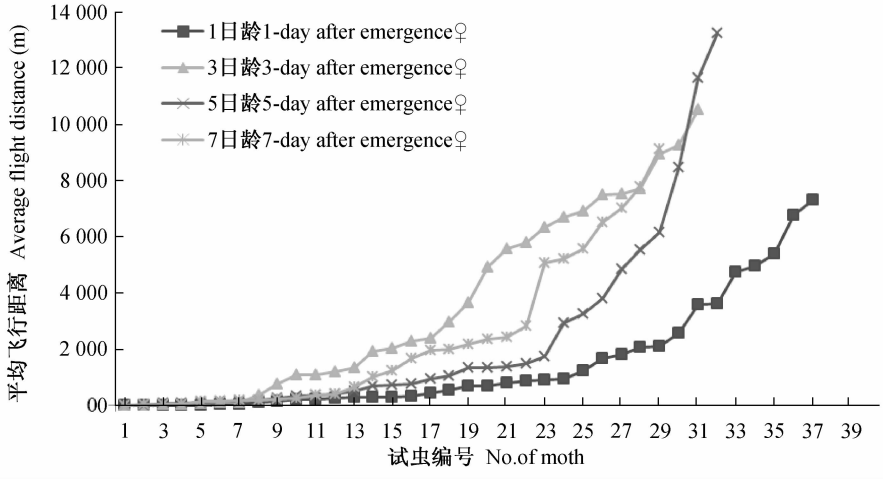

图 1 不同日龄雌虫平均飞行距离的差异性比较

Fig. 1 The average flight distance of different aged female diamondback moths *Plutella xylostella*

7 日龄的雄蛾吊飞后的死亡率最高,最长存活时间也比其他 3 个日龄短。吊飞之后部分试虫死亡,试虫死亡率随着试虫的日龄增加而升高。

表 3 不同日龄小菜蛾成虫吊飞后的存活时间及产卵量

Table 3 The longevity and fecundity of different aged diamondback moth *Plutella xylostella* after flight ability test

性别 Sex	参数 Parameter	1 日龄 1-day after emergence	3 日龄 3-day after emergence	5 日龄 5-day after emergence	7 日龄 7-day after emergence
雌 Female	平均存活时间 Average longevity after flight (d)	6.64 ± 6.67 ab	7.28 ± 5.89 a	4.27 ± 2.84 bc	3.15 ± 2.43 c
	最长存活时间 Longest longevity after flight (d)	24	22	13	8
	交配个体最大产卵量(粒/头) Highest fecundity of mated moths (per moth)	171	42	33	55
	平均产卵量(粒/头) Average fecundity (per moth)	39.22 ± 53.09 a	40.83 ± 39.32 a	28.57 ± 19.40 a	24.86 ± 16.79 a
	吊飞后的死亡率 Mortality after flight	2%	5%	13%	16%
雄 Male	平均存活时间 Average longevity after flight (d)	5.59 ± 4.88 a	5.41 ± 4.07 a	3.06 ± 2.52 b	3.70 ± 2.27 ab
	最长存活时间 Longest longevity after flight (d)	21	20	12	9
	吊飞后的死亡率 Mortality after flight	2%	8%	12%	29%

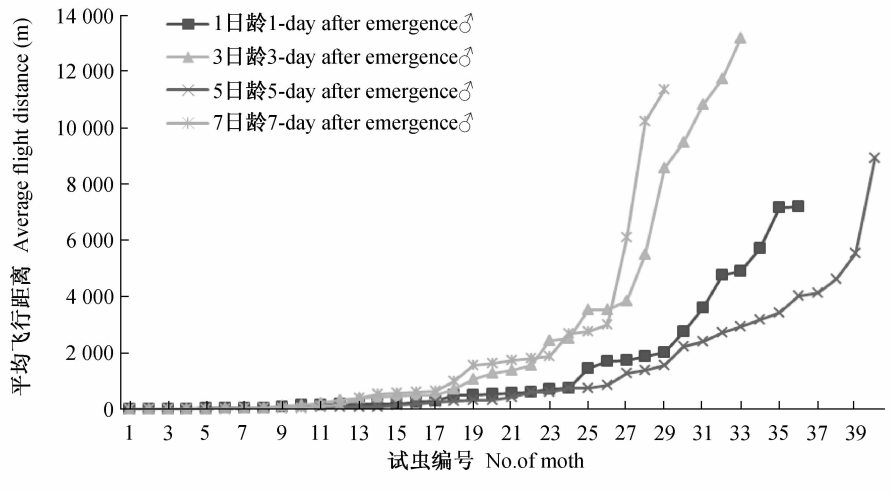

图 2 不同日龄雄虫平均飞行距离的差异性比较

Fig. 2 The average flight distance of different aged male diamondback moths *Plutella xylostella*

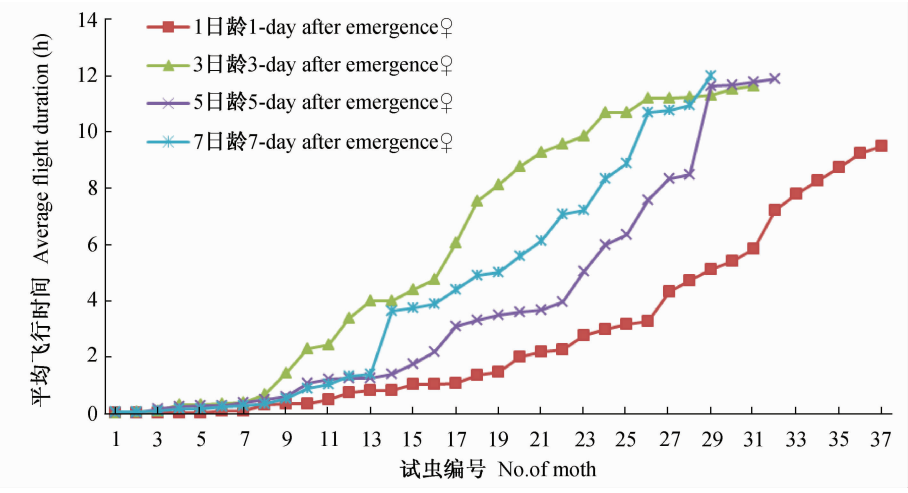

图 3　不同日龄雌虫平均飞行时间的差异性比较

Fig. 3　The average flight duration of different aged female diamondback moths *Plutella xylostella*

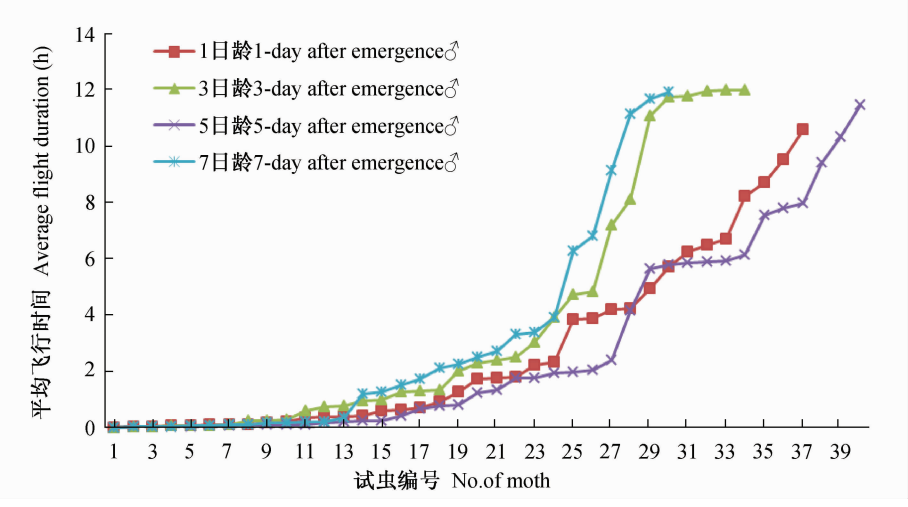

图 4　不同日龄雄虫平均飞行时间的差异性比较

Fig. 4　The average flight duration of different aged male diamondback moths *Plutella xylostella*

2.3　交配后小菜蛾飞行能力测定及吊飞对其存活和繁殖能力的影响

2.3.1　交配和未交配的小菜蛾的飞行能力　交配与否对雌蛾和雄蛾的飞行能力都没有影响。交配后吊飞和未交配吊飞的小菜蛾平均飞行距离和平均飞行时间的统计分析差异不显著。交配后雌虫平均飞行距离和平均飞行时间均较未交配大,而未交配的雄虫的平均飞行距离和平均飞行时间较交配后的小菜蛾稍大(表 4,图 5,图 6)。

2.3.2　交配和未交配的小菜蛾吊飞后的存活及繁殖能力　小菜蛾吊飞前的交配与否对吊飞后的存活及繁殖的有一定的影响,如表 5 所示。吊飞前未交配而在吊飞后交配的小菜蛾对比吊飞前交配的小菜蛾,其产卵个体减少,最大产卵量也减少;平均存活时间也较吊飞前交配的小菜蛾稍短(表 5)。

3　讨论与结论

小菜蛾在环境条件和营养条件适宜的情况下拥有强的生命力和繁殖能力。试验条件下的小菜蛾雌雄虫的寿命差异不大,个体间繁殖能力差异显著。用野生寄主饲养的小菜蛾中,会出现个体大小且飞行能力不一样的成虫(Muhamad *et al.*, 1994)。实验所用种群采自北京地区的田间,室内

表 4 交配和未交配小菜蛾飞行能力比较

Table 4 The flight ability of mated and unmated diamondback moth *Plutella xylostella*

参数 Parameter	性别 Sex	交配 Mated	未交配 Unmated
平均飞行距离 Average flight distance (m)	雌 Female	1 277 ± 2 486 (25) a	0.459 ± 0.734 (20) a
	雄 Male	1 015 ± 1 710 (25) a	1.317 ± 2.727 (18) a
平均飞行时间 Average flight duration (h)	雌 Female	2.088 ± 3.148 (25) a	1.390 ± 2.700 (20) a
	雄 Male	1.966 ± 2.853 (25) a	2.333 ± 3.205 (18) a
最大飞行距离 Longest flight distance (m)	雌 Female	10 899	2.703
	雄 Male	7 619	11.505
最大飞行时间 Longest flight duration (h)	雌 Female	10.381	8.249
	雄 Male	12.000	11.904

表 5 交配和未交配的小菜蛾成虫吊飞后的存活时间及产卵量

Table 5 The longevity and fecundity of mated and unmated diamondback moth *Plutella xylostella* after flight

性别 Sex	参数 Parameter	交配 Mated	未交配 Unmated
雌 Female	平均存活时间 Average longevity after flight (d)	4.33 ± 3.38 a	3.25 ± 2.84 a
	最长存活时间 Longest longevity after flight (d)	14	11
	最大产卵量(粒) Highest fecundity (per moth)	115	56
	平均产卵量(粒) Average fecundity (per moth)	40 ± 36 b	108 ± 7.07 a
	吊飞后死亡率 Mortality after flight	8%	4%
雄 Male	平均存活时间 Average longevity after flight (d)	3.13 ± 1.18 a	2.65 ± 2.28 b
	最长存活时间 Longest longevity after flight (d)	6	12
	吊飞后死亡率 Mortality after flight	5%	4%

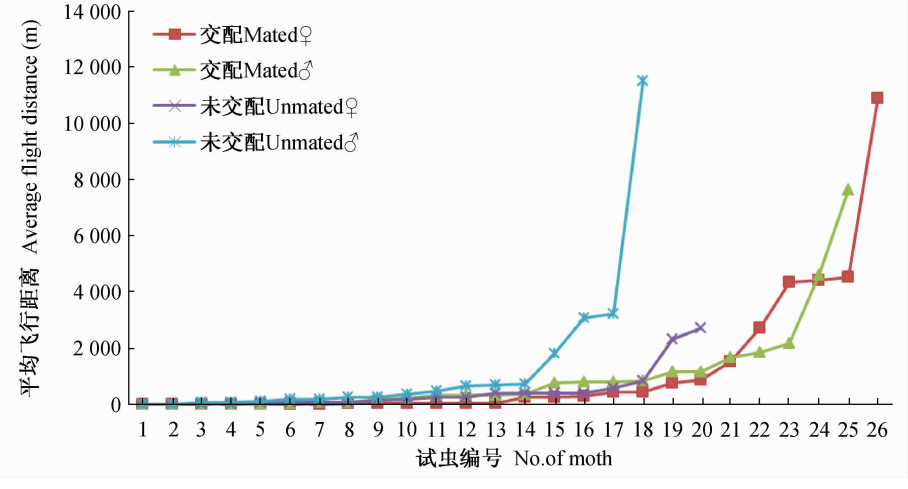

图 5 交配与未交配的小菜蛾平均飞行距离

Fig. 5 The average flight distance of mated and unmated diamondback moth *Plutella xylostella*

饲养了 2 ~ 3 代即用于试验。由于小菜蛾在我国北方地区不能越冬(马春森和陈瑞鹿,1991),而且不同地理种群间存在频繁的基因交流 (Li *et al.*, 2006),田间种群有可能是由不同的地理种群组成的,基于同工酶的研究均表明小菜蛾种群内的遗传多样性较高 (王少丽等,2002)。因此,本研究中的试验种群间的个体间可能存在异质性。这可能是导致实验处理内不同个体飞行能力差异较大

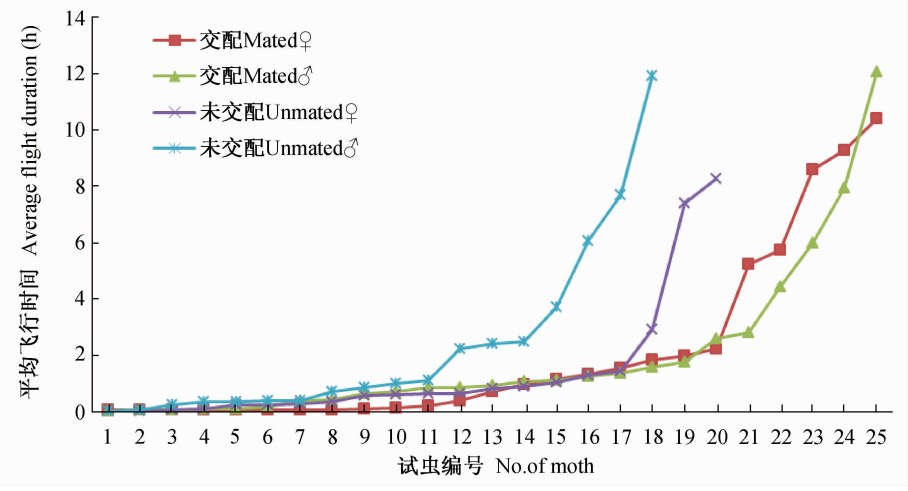

图 6　交配与未交配的小菜蛾平均飞行时间

Fig. 6　The average flight duration of mated and unmated diamondback moth *Plutella xylostella*

的原因之一。

另外,本实验利用飞行磨在室内模拟测试小菜蛾的飞行能力。在小菜蛾的吊飞以及从飞行磨上取下的过程中虽然已经尽量做到细致,但是也可能对小菜蛾造成伤害,导致不同个体的飞行能力存活能力的差异。但是这些系统误差在不同的处理中均有发生,因此,对比较不同处理的小菜蛾的飞行能力影响不大。实验中每个处理选择了 30 头成虫进行处理,供试样本数量较少也可能是导致处理内差异较大的原因,在以后的实验中,应该尽量增加供试样本的数量。

小菜蛾飞行能力的强弱与小菜蛾的日龄、营养条件等因素有关。第 1 日龄的小菜蛾由于发育成熟度不够、营养的吸收和供应不够完全,其飞行能力较弱。吊飞后及时供给营养,其寿命和繁殖能力仍会较强;在营养条件充分的条件下,第 3 日龄的小菜蛾已经基本发育成熟,并且开始出现成熟卵(Pivnick *et al.*,1990),营养积累也达到很强的程度,所以飞行能力及吊飞后的寿命及繁殖能力均能稳定在较强的范围内;3 ~ 5 日龄的小菜蛾是产量高峰期,本研究中第 5 日龄的小菜蛾飞行能力较前 2 个日龄低,这与在鳞翅目中发现的成虫的产卵量与活动量之间存在负相关性是一致的,但是产卵量与活动能力之间的负相关性与代谢的改变之间的关系仍然未知(Jervis *et al.*, 2005);由于没有交配,第 7 日龄的小菜蛾原生殖系统积累的能量可能部分的转向其他系统,如飞行系统,所以其飞行能力较第 5 日龄较强,但差异不显著。本试验结果可以初步的证明,在第 1、3、5 和 7 日龄 4 个处理中,第 3 日龄更适宜小菜蛾进行远距离的飞行。

尽管本试验对于不同日龄小菜蛾的飞行能力和交配对小菜蛾飞行的影响,以及小菜蛾吊飞后的寿命及繁殖能力进行了研究,得到了一些初步的结果可以做为小菜蛾远距离飞行的依据,但是对解决小菜蛾远距离迁飞的年龄模式还是不够的,而且田间的条件复杂,还有哪些因素影响或决定着小菜蛾的飞行能力,都还不清楚,还需要做更深一步的研究。

参考文献(References)

Begum S, Tsukuda R, Fujisaki K, Nakasuji F, 1996. The effects of wild cruciferous host plants on morphology, reproductive performance and flight activity in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Res. Popul. Ecol.*, 38(2):257 – 263.

Campos WG, Schoereder JH, DeSouza OF, 2006. Seasonality in neotropical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera): resource availability and migration. *Popul. Ecol.*, 48(2):151 – 158.

Campos WG, Schoereder JH, Sperber CF, 2004. Does the age of the host plant modulate migratory activity of *Plutella xylostella*? *Entomol. Sci.*, 7(4):323 – 329.

Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woiwod IP, 2002. High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecol.*

Entomol., 27(6):641 – 650.

Chu Y, 1986. The migration of diamondback moth. Diamondback moth management: Proceedings of the First International Workshop, Taiwan China Asian Research and Development Center. 77 – 81.

French R, White J, 1960. The diamondback moth outbreak of 1958. *Plant Pathol.*, 9(3):77 – 84.

French RA, 1967. Long distance movement of two migrant Lepidoptera in relation to synoptic weather conditions. *Biometeorology*, 2(1):565 – 569.

Honda K, 1992. Hibernation and migration of diamondback moth in northern Japan// Talekar NS (ed.). Diamondback Moth and other Crucifer Pests. Asian Vegetable Research and Development Center. 43 – 50.

Jervis MA, Boggs CL, Ferns PN, 2005. Egg maturation strategy and its associated trade-offs: a synthesis focusing on Lepidoptera. *Ecol. Entomol.*, 30(4):359 – 375.

Kohno K, Soemori H, Takahashi K, 2004. Seasonal occurrence of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) on Ishigaki-jima Island, with special reference to their sudden occurrence associated with a typhoon. *Appl. Entomol. Zoolog.*, 39(1):119 – 125.

Li JH, Zhao F, Choi YS, Kim I, Sohn HD, Jin BR, 2006. Genetic variation in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in China inferred from mitochondrial COⅠ gene sequence. *Eur. J. Entomol.*, 103(3):605 – 611.

Muhamad O, Tsukuda R, Oki Y, Fujisaki K, Nakasuji F, 1994. Influences of wild crucifers on life-history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Yponomeutidae). *Res. Popul. Ecol.*, 36(1):53 – 62.

Pivnick KA, Jarvis BJ, Gillott C, Slater GP, Underhill EW, 1990. Daily patterns of reproductive activity and the influence of adult density and exposure to host plants on reproduction in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environ. Entomol.*, 19(3):587 – 593.

Shirai Y, 1993a. Comparison of longevity and flight ability in wild and laboratory-reared male adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Entomol. Zoolog.*, 28(4):587 – 590.

Shirai Y, 1993b. Factors influencing flight ability of male adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, with special reference to temperature conditions during the larval stage. *Appl. Entomol. Zoolog.*, 28(3):291 – 301.

Shirai Y, 1995. Longevity, flight ability and reproductive performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae), related to adult body size. *Res. Popul. Ecol.*, 37(2):269 – 277.

Talekar NS, Shelton AM, 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38:275 – 301.

陈非洲, 刘树生. 2004. 低温对小菜蛾实验种群的影响. 应用生态学报, 15(1):99 – 102.

程登发, 封洪强, 吴孔明. 2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京:科学出版社. 216.

冯夏, 李振宇, 吴青君, 谌爱东, 吴益东, 侯有明, 何余容, 李建洪, 谢圣华, 章金明, 符伟, 马春森, 2011. 小菜蛾抗性治理及可持续防控技术研究与示范——公益性行(农业)科研专项"小菜蛾可持续防控技术研究与示范"进展. 应用昆虫学报, 48(2):247 – 253.

马春森, 陈瑞鹿, 1991. 菜蛾越冬与迁飞问题研究//中国植物保护学会,中国农业科学院教育委员会. 首届全国青年植物保护科技工作者学术讨论会论文集. 中国科学技术出版. 294 – 299.

马春森, 马罡, 杨和平, 2010. 小菜蛾在温带地区越冬研究进展. 生态学报, 30(13):3628 – 3636.

王少丽, 盛承发, 乔传令, 2002. 不同地理种群小菜蛾的遗传多样性分析. 生态学报, 22(10):1718 – 1723.