

适用于蚜虫等微小昆虫的飞行磨系统*

程登发 田 喆 孙京瑞 倪汉祥 李光博

(中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094)

摘要 介绍了一套采用计算机进行控制和数据采集的适用于蚜虫等微小昆虫的飞行磨系统。该系统能同时对 32 头昆虫进行飞行测试,并对测试数据进行自动分析处理。利用该飞行磨系统对不同日龄禾缢管蚜的飞行能力进行了初步测试。结果表明,禾缢管蚜在第 1 至第 5 日龄的飞行能力最强,明显高于第 7 和第 9 日龄。平均飞行时间在各日龄之间差异不显著,但平均飞行速度随日龄的增加而逐渐降低。本文对飞行磨结构、数据采集接口板电路原理和软件流程设计等方面均进行了较为详细的介绍。并简要介绍了不同日龄禾缢管蚜的飞行能力测试结果。对开展微小型昆虫的飞行行为学研究具有较为重要的参考价值。

关键词 蚜虫,昆虫飞行磨,飞行行为,计算机

一些微小型昆虫,如麦蚜和稻飞虱等,是我国粮食作物的重要害虫。由于其迁飞习性,使其在生产上难于测报和防治,给我国农业生产造成巨大的经济损失。为了有效地控制这些害虫的暴发为害,提高其灾变预警水平,就必须加强其迁飞规律及迁飞行为机制的研究。

昆虫飞行磨系统,是研究昆虫迁飞规律和迁飞行为机制的重要手段之一。它对于揭示迁飞性昆虫的起飞、降落和迁飞途中与环境条件如温度、湿度、光照和气流之间的关系、食物营养对昆虫飞行能力的影响、迁飞过程中体内物质变化和能量代谢以及迁飞与产卵、繁殖等的关系具有非常重要的作用。

飞行磨研究始于 1953^[1],在 1984 年以前,均是采用计数器进行计数^[2~4]。随着计算机技术的普及,昆虫学家逐步使用计算机进行飞行磨数据采集和控制^[5~13]。但这些研究均是针对鳞翅目如粘虫、棉铃虫等体型较大的昆虫^[14~18]。在小型昆虫方面,只有褐飞虱^[19]作过部分研究。而对于蚜虫等微小型昆虫,由于飞行能力太弱,其用于飞行行为测试的飞行磨和利用飞行磨对蚜虫的飞行能力进行测试,目前尚未见报道。

本研究在参照国内外原有研究的基础上,对飞行磨的结构进行了改进,其摩擦阻力大为减小,以适宜于测试蚜虫等微小型昆虫的飞行能力。同时研制了计算机数据采集及控制接口板和数据采集、分析软件,使其能同时对 32 台昆虫飞行磨进行数据采集和控制。

1 飞行磨结构

目前,国际上较为流行的用于鳞翅目等体型较大昆虫的飞行能力测试的飞行

* 国家攀登计划(85-31-02-01)和国家自然科学基金(39470404)资助项目的部分研究内容
1997-03-18 收稿,1997-07-09 收修改稿

磨^[1~13], 虽然采用了各种措施来减少摩擦阻力, 但对于微小型昆虫仍不适用。

本研究所采用的适用于蚜虫等微小昆虫的飞行磨结构见图 1。它由“U”型铁支架、磁铁、昆虫针轴、悬臂、遮光片、和光电探头等部分组成。其中, 铁支架由宽 20 mm、厚 2.0 mm 的钢板弯制而成。制成的支架高度为 35 mm、长度为 120 mm。磁铁采用厚 1.5 mm、直径 9 mm 的高密度磁钢, 上下各一片, N 极和 S 极相对放置, 使其通过铁支架和昆虫针

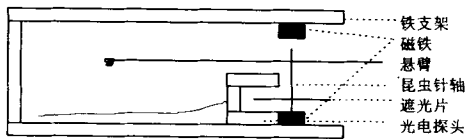


图 1 用于蚜虫等微小昆虫的飞行磨结构图

轴形成一个磁路。竖轴由 5 号昆虫针截取适当长度制成, 其中针尖端向下, 以使其与下磁铁的接触面最小(点接触), 上端在上磁铁磁力的吸引下而保持直立。上下磁铁均可移动, 以使竖轴调整到垂直状态。悬臂采用从多股导线上取下的细铜丝拉直后制成。悬臂半径约 79.5 mm, 其昆虫飞行一周的距离约等于 50 cm。光电探头长度为 8 mm, 宽度为 4 mm, 高度为 8 mm, 槽型开口深度为 4 mm, 高度为 3 mm。遮光片采用宽 5 mm、长 15 mm 的黑色塑料片、两端剪成半圆形。悬臂和遮光片使用 502 胶粘在竖轴上, 并精心调整使其平衡。被测昆虫采用 502 胶粘在悬臂上。根据虫体大小不同, 其粘接部位略有差异。对于鳞翅目等体型较大的昆虫, 多采用粘接前胸背板, 而对于蚜虫等微小昆虫, 则粘接腹部为宜。这样可以避免悬臂对昆虫飞行振翅的影响。

光电探头采用由红外发光二极管和光电三极管组成的槽型光电开关。当被测昆虫绕圆周飞行时, 带动遮光片一起转动。每当遮光片通过光电探头时, 挡住了从发光二极管到光电三极管的红外光, 从而产生一个电脉冲, 该脉冲经数据采集接口板整形后送入计数器预计数, 然后由计算机定时读取、储存, 由控制软件进行分析处理。

2 数据采集接口板

数据采集接口板电路原理图见图 2。从光电探头来的电脉冲经带施密特触发器的反相器 74LS14 整形, 成为矩形波后送入双四位二进制计数器 74LS393 进行预计数。每片 74LS393 计数两台飞行磨的数据。由于四位二进制计数器可以计数从 0~15, 根据被测昆虫飞行速度快慢, 通过软件设置计算机定时读取数据的时间长短。对大部分昆虫, 一般设置 1~5S 读取一次即可满足要求。当定时读取时间到, 计算机读取数据时, 首先通过地址总线 and 数据总线向并行接口 8255A 发送读取指令, 该指令发送到 U36, 通过 4 线—16 线译码器 74LS154 发送片选信号到具三态输出的八组缓冲器和总线驱动器 74LS244, 让其发送第一和第二台飞行磨的数据(一次读取两台飞行磨的数据)。数据通过 8255A 并行接口被计算机数据总线接收, 并被分别储存。随后, 计算机发送一清除指令, 通过 U37(4 线—16 线译码器 74LS154) 将刚读取的计数器清零, 使其重新开始下一轮计数。接下来, 计算机重复上述过程, 读取下两台飞行磨的数据, 直至全部 32 台飞行磨数据被读完。

3 数据采集、分析用计算机

可采用 80286 以上的任何 PC 计算机。为了提高数据分析处理速度, 采用 80486 以上

4 软件原理

该计算机数据采集、分析软件采用 C 语言编制而成，采用结构化编程，菜单选择方式，具有人机界面友好，容易使用等特点。其主程序和定时中断子程序框图见图 3。

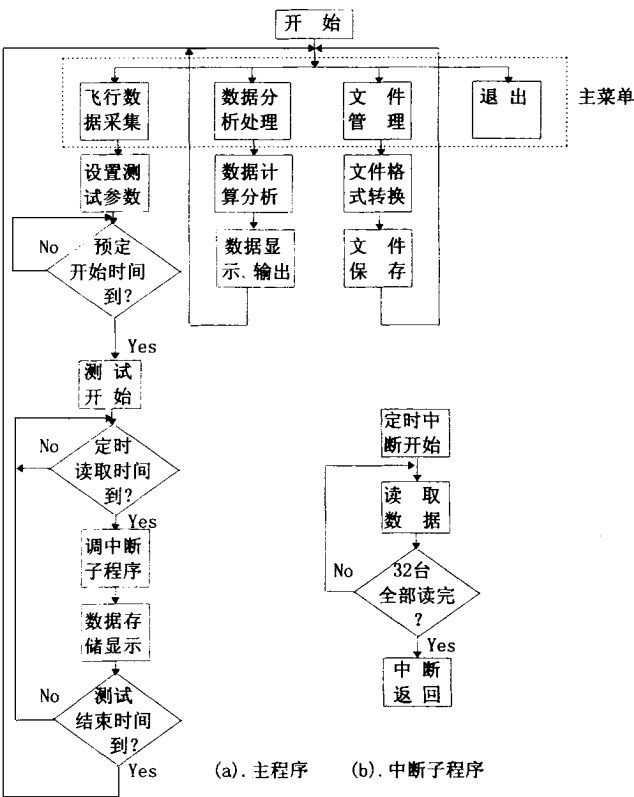


图 3 微小型昆虫飞行磨系统软件框图

该软件分昆虫飞行数据采集、数据分析处理和文件管理三部分。

进入昆虫飞行数据采集模块后，首先要求输入测试参数，它包括测试时的参数和昆虫数据两项。测试参数包括：存储数据的文件名、使用的飞行磨台数、飞行臂周长、测试室温度、相对湿度、光照强度、测试日期、开始时间、测试时间长度、读数周期等。昆虫参数按每个飞行磨分别记录，包括：磨号、被测昆虫名称、日龄、性别等。

参数设置完毕，程序即进入测试前的等待状态。一旦所设置的开始测试时间到，程序即根据所设的定时读取时间周期性地调用中断子程序读取昆虫飞行测试数据。

中断子程序首先通过 8255A 的 B 端口将飞行磨台组的选择信号送到 4 线~16 线译码器 (74LS154) 上 (每一台组由两台飞行磨组成)。译码器的输出用来选通与该台组相对应的三态门电路 (74LS244)，使得该台组的数据从预计数器 (74LS393) 经过上述被选

通后的三态门电路而送到 8255A 的 C 端口上, 计算机从该端口上读取数据, 然后发出清零信号, 将该台组相对应的预计计数器清零, 此后, 计算机将两台飞行磨的数据分离, 并分别存储, 计算机依次选择 0、1……15 台组, 将 32 台飞行磨数据全部读完并处理完成后从中断子程序返回。

随后, 主程序调用显示模块, 显示当前时间和刚读取的飞行磨数据。显示完毕, 程序进入等待状态, 直到下一个读数周期的到来, 然后再次调用中断子程序, 读取下一周期的数据, 并存储于新的内存单元中。这样周而复始, 直到测试结束时间到或被人为终止退出。

数据分析处理是将数据采集得到的原始数据, 根据测试参数中设定的数据累加求和周期进行分析和求和。分析处理后可得到如下结果: 每头昆虫的飞行次数, 每次飞行的开始时间、结束时间; 最小飞行圈数、总飞行圈数; 最小飞行距离、最大飞行距离、总飞行距离; 最低飞行速度、最高飞行速度、平均飞行速度; 最短飞行时间、最长飞行时间、总飞行时间; 最短停飞时间、最长停飞时间、总停飞时间等。该结果被存入文件, 可被再次显示和打印输出。

文件管理可对被测原始数据文件和分析求和后的数据文件进行文件格式转换, 以被其它统计分析软件和数据制表软件直接调用。

5 飞行测试检验

5.1 供试昆虫及测试条件

供试虫源为在感蚜品种北京 169 上经室内多代饲养的禾缢管蚜。分别取 1、3、5、7、9 日龄的有翅成蚜供测试用。每日龄测试 40 头左右。

室内温度控制在 23℃ 左右; 相对湿度控制在 50%~70%; 光照强度控制采用双向可控硅控制器进行调节, 控制光照强度在 100lx 左右。

5.2 被测昆虫的粘接和测试

昆虫的悬吊测试, 昆虫的粘接处理将是试验成败的关键, 特别是对于蚜虫等微小昆虫尤其重要。粘接昆虫时采用市售的 502 胶或其他粘接速度快、对昆虫损伤小的粘接剂。粘接时, 用毛笔将昆虫从养虫箱中取出, 为了不对昆虫造成影响, 不要采取麻醉和冷冻处理。将其背部向下, 用毛笔轻轻压住翅膀和胸部, 速将飞行磨悬臂端部沾取少量 502 胶并将其粘接在昆虫的腹部。等待片刻, 即可将连有飞行磨竖轴和遮光片的悬臂放回飞行磨上进行飞行测试。

对于蚜虫等微小昆虫, 由于飞行能力太弱, 在刚开始测试时, 可用口轻吹, 使其顺利起飞。对经多次吹动均不起飞者, 可能系粘接不好或其它原因, 应予放弃并重新粘接其它个体。

5.3 测试结果

不同日龄的禾缢管蚜飞行能力测试结果见表 1, 共测试 232 头禾缢管蚜有翅成蚜。

表 1 不同日龄禾缢管蚜的飞行能力

蚜虫日龄 (d)	飞行距离 (km)		飞行时间 (h)		飞行速度 (km/h)	
	平均±标准差	最大	平均±标准差	最长	平均±标准差	最大
1	3.007±0.330 a AB	14.059	2.186±0.235 ab A	8.771	1.401±0.027 a A	1.917
3	3.414±0.413 a A	12.872	2.640±0.301 a A	8.490	1.285±0.029 b AB	1.675
5	3.058±0.346 a AB	7.978	2.690±0.326 a A	6.960	1.177±0.035 c B	1.746
7	1.537±0.195 b B	4.655	1.475±0.190 b A	5.131	1.060±0.033 d B	1.434
9	1.739±0.391 b B	4.154	1.701±0.393 ab A	4.307	1.067±0.060 d B	1.432

注：数字后字母为 Duncan 测验结果，小写字母表示 5%显著水平，大写字母表示 1%显著水平，字母相同者为差异不显著

5.3.1 禾缢管蚜飞行距离与日龄的关系：测试结果表明，禾缢管蚜的平均飞行距离以第 1 日龄、第 3 日龄和第 5 日龄较大，采用 Duncan 新复极差多重比较表明，在 5%显著性水平上，它们之间的差异不显著，而与第 7 日龄和第 9 日龄之间有显著差异。在 1%的显著性水平上，第 3 日龄与第 7 和第 9 日龄间存在极显著的差异，而其他日龄之间差异不显著。最大飞行距离在第 1 日龄和第 3 日龄为最大，随日龄的增加而逐渐缩短。最大平均飞行距离为 3.414 km，单头蚜虫的最大飞行距离为 14.059 km

5.3.2 禾缢管蚜飞行时间与日龄的关系：禾缢管蚜的平均飞行时间在第 3 和第 5 日龄时较长，在 5%显著水平上，它们与第 7 日龄存在显著差异，但在 1%的显著水平上，所有日龄禾缢管蚜之间的飞行时间均不存在差异。单头蚜虫的最大飞行速度与最大飞行距离相似，在第 1 和第 3 日龄最长，并随日龄的增加而逐渐缩短。

5.3.3 禾缢管蚜飞行速度与日龄的关系：平均飞行速度随日龄的增加而逐渐缩短，在 5%的显著性水平上，除第 7 日龄和第 9 日龄之间无显著差异外，其他日龄之间均存在显著差异。在 1%的显著性水平上，只有第 1 日龄和第 5~9 日龄之间存在极显著差异，其他日龄之间差异不显著。在单个蚜虫的最大飞行速度之间差异不明显。

以上飞行测试结果表明，禾缢管蚜不同日龄之间的平均飞行时间差异不明显，但由于各日龄之间的平均飞行速度有较显著的差异，因而导致了平均飞行距离的差异。经初步观测发现，禾缢管蚜的有翅成虫从第 1 日龄后开始产仔，产仔过程中的体内物质的消耗以及母蚜本身的老化，可能是导致禾缢管蚜平均飞行速度降低的主要原因之一。但最终结论还需在飞行测试过程中配合体内物质的变化及能量代谢等方面的研究加以证实。目前该项研究正在深入开展之中。

到目前为止，作者已利用该飞行磨系统对禾缢管蚜和麦长管蚜进行了 100 多次测试，华中农业大学邓望喜教授的两位硕士研究生分别对斑潜蝇和褐飞虱进行了测试。测试结果表明该系统运行稳定可靠，完全可用于微小昆虫的飞行测试。

对于昆虫悬吊飞行测试，尽管一些学者认为在悬吊情况下的昆虫飞行与自然情况下的飞行有一定的差距而存在一些看法，但由于通过飞行磨悬吊飞行测试能得到其它研究无法得到的诸如飞行距离、飞行速度、飞行时间及起飞、停飞时间等较为完整的数据而被世界各国的昆虫学家所广泛采用。虽然由于飞行磨难以完全消除的摩擦和空气阻力以

及由于粘接等原因对被测昆虫的飞行有一定影响,而使被测结果不能完全反映该昆虫的实际飞行能力,但飞行磨对于比较各种昆虫之间以及同种昆虫不同处理之间的飞行能力、不同环境条件和不同营养条件对昆虫飞行能力的影响等均具有非常重要的参考价值。国内许多学者利用飞行磨对粘虫、小地老虎、棉铃虫、玉米螟、稻飞虱、松毛虫和柑橘大食蝇等的飞行生物学进行了大量研究,取得了可喜的成果。相信适于微小型昆虫飞行磨的开发,对于研究蚜虫、稻飞虱、斑潜蝇、寄生蜂等微小型昆虫的迁飞和扩散能力及飞行生物学将具有较大的推动作用。

参 考 文 献

- 1 Hocking B. The intrinsic range and speed of flight of insects. Trans. R. Entomol. Soc. Lond 1953, 104: 223~345
- 2 张志涛. 昆虫吊飞装置. 植物保护, 1982, 8 (6): 30~32
- 3 吴家荣. 昆虫悬吊飞行装置的设计和应用. 昆虫知识 1983, 20 (2): 94~99
- 4 胡伯海, 林昌善. 粘虫飞行的模拟试验 生态学报 1983, 3: 367~375
- 5 中国农科院植保所. 试用微型电子计算机采集计算昆虫吊飞数据成功. 植物保护, 1984, 10 (5): 33
- 6 李玉泉. 八通道昆虫飞速、飞行里程微机检测系统. 南京农业大学学报, 1987, 3: 127~133
- 7 翟保平. 昆虫吊飞试验的微机记录系统介绍. 昆虫知识, 1987, 4: 242~243
- 8 程登发, 孙京瑞, 曹雅忠等. 昆虫飞行测试系统. 植物保护研究进展, 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 139~143
- 9 Beerwinkle K R, Lopez J D, Cheng Jr D. *et al.* Flight potential of feral *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) males measured with a 32-channel, computer-monitored, flight-mill system. Environmental Entomology, 1995, 24 (5): 1122~1130
- 10 Clark J L, Rowley W A, Christiansen S. *et al.* Microcomputer-based monitoring and data acquisition system for a mosquito flight mill. Ann. Entomol. Soc. Am. 1984, 77: 119~122
- 11 Cooter R J, Armes N J. Tethered flight technique for monitoring the flight performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Env. Entomol. 1993, 22 (2): 339~345
- 12 Resurreccion. A N, Showers W B, Rowley W A *et al.* Micro-computer-interfaced flight mill system of large moths such as black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). Ann. Entomol. Soc. Am 1988, 81 (2): 286~291
- 13 Taylor R A J, Nault L R, Stryer W E *et al.* Computer-monitored, 16-channel flight mill for recording the flight of leafhoppers (Homoptera: Auchenorrhyncha). Ann. Entomol. Soc. Am. 1992, 85 (5): 627~632
- 14 张志涛, 李光博. 粘虫飞翔生物学特性初步研究. 植物保护学报, 1985, 12 (2): 93~100
- 15 翟保平, 陈瑞鹿. 亚洲玉米螟飞翔能力的初步研究. 吉林农业科学, 1989, 1: 40~46
- 16 曹雅忠, 程登发, 倪汉祥等. 补充营养对粘虫飞翔效应的研究. 见: 第一次全国中青年植保科技工作者学术讨论会论文集, 北京: 中国科技出版社, 1990, 422~427
- 17 贾佩华, 曹雅忠. 小地老虎成虫的飞翔活动. 昆虫学报, 1992, 35: 59~65
- 18 王振营, 周大荣. 亚洲玉米螟越冬代成虫扩散行为与迁飞可能性研究. 植物保护学报, 1994, 21 (1): 25~30
- 19 陈若镜, 吴家荣, 祝树德等. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报, 1984, 27: 121~127

A COMPUTER-MONITORED FLIGHT MILL SYSTEM FOR TINY INSECTS SUCH AS APHID

Cheng Dengfa Tian Zhe Sun Jingrui Ni Hanxiang Li Guangbo

(*Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science Beijing 100094*)

Abstract In this paper, a 32 channel, computer-monitored flight mill system for testing the flight ability of small, weakly flying insects such as aphids was designed and presented. The flight mill construction, data collecting adapter and software design were described. The flight mill system is an optimal tool for studying small insects flight behavior.

The flight ability of the bird cherry oat aphid (BCOA) *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) was tested with this flight-mill system. The results showed that the flight performance of the aphids varied with their ages. The BCOA at 1 to 5-day old flew significantly longer than those at 7 to 9-day old. However, there was no significant difference in the average flight time among the BCOA with different ages, and the flight speed decreased with the increase of the aphid age.

Key words aphid, flight mill, flight behavior, microcomputer