

蝗虫在滑移捕集滑板上的附着力测试*

王立新 周强 罗瑞龙 徐树彦

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 为给灾害蝗虫光电诱导滑移捕集装置中滑板材料的优选与滑板倾角的设定提供技术支持,设计了蝗虫附着力测试系统(精度为1 mN,量程为0~3 N),并利用该系统进行了蝗虫在不同材料和不同倾角捕集滑板上的附着力测试。结果表明,当分别以镀锌铁板、PVC板和普通玻璃板为滑板时,蝗虫的附着力均随着倾角的增加而减小;对于确定倾角的滑板,蝗虫在镀锌铁板上具有较小的附着力,故镀锌铁板较适宜作光电诱导滑移捕集装置的滑板,相应的最小倾角为35°~40°。

关键词: 蝗虫 捕集滑板 附着力 测试系统

中图分类号: S433.2; S499; TH823 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)12-0195-04

Attachment Force Test of Locust on Slippery Trapping Plates

Wang Lixin Zhou Qiang Luo Ruilong Xu Shuyan

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to provide technological reference for selecting materials and setting slanting angle of slippery trapping plates in plague locust capturing machine, attachment force testing system (the resolution is 1mN, the measurement range is 0~3 N) was designed, and attachment force of locust on the plates with different materials and slanting angles were measured with this system. The experiment results exhibited that with the different materials of the plates, like zinc plate, PVC plate and silicate glass plate, the attachment force of locusts decreased apparently as the slanting angle increased. For the fixed slanting angle, the attachment force of locusts on zinc plate showed the much lower values. Based on the experiment results, zinc plate was more suitable for the plate and the minimum slanting angle should be 35°~40°.

Key words Locust, Slippery trapping plate, Attachment force, Testing system

引言

目前,对于蝗灾的防治主要采用喷施化学农药的方法。高压静电喷雾技术^[1~2]的应用提高了农药的使用效率,增强了治理灾害蝗虫的效果,但同时化学农药中有机毒素的残留和积淀也对生态环境造成了严重破坏。近年来,光电诱导蝗虫滑移捕集技术^[3]不仅能够避免农药污染,还可实现蝗虫的资源化利用。但在光电诱导作用下跌落于捕集滑板的蝗

虫,因其特殊的附着系统能够在捕集滑板上附着,使捕集效率明显降低。因此,优选使蝗虫具有良好滑移功能的滑板对于灾害蝗虫光电诱导滑移捕集装置的设计制造具有重要意义。在优选捕集滑板的过程中,对蝗虫在滑板表面附着力的测试是重要环节。

本文从硬件和软件两方面简述蝗虫附着力测试系统的设计,并利用该系统测试蝗虫在不同材料和不同倾角捕集滑板表面的附着力,确定滑移功能较好的滑板材料及其安装的最小倾角,为灾害蝗虫的

收稿日期: 2009-12-14 修回日期: 2010-01-12

* 国家自然科学基金资助项目(50775214)和中国农业大学研究生科研创新专项资助项目(kycx09099)

作者简介: 王立新, 博士生, 主要从事生物摩擦与材料仿生研究, E-mail: wangcola@qq.com

通讯作者: 周强, 教授, 博士生导师, 主要从事生物光电技术与机械仿生研究, E-mail: zq@cau.edu.cn

光电诱导滑移捕集装置中滑板的设计及安装提供标准化数据信息。

1 蝗虫附着力测试系统设计

蝗虫附着力测试系统由传感器及其固定机构、信号调理电路、数据采集卡、数据处理与界面显示程序等组成,其中传感器固定机构还为需测试的滑板提供了放置平台。

1.1 传感器的选取与标定

蝗虫的附着系统在材料表面产生的附着力受到表面粗糙度与硬度的影响^[4-5],变化范围大。故先选用量程较大的传感器测试蝗虫在表面粗糙度较大的材料(如砂纸)上的附着力,多次测量后取测得的最大附着力,用于确定拟选用传感器的量程。参照甲虫附着力测试仪器对传感器分辨率的要求来确定该系统所用传感器的分辨率^[6]。基于所述因素,该系统的传感器选用拉压式传感器 1-PW4MC3,其最大量程为 3 N,分辨率为 1 mN。

传感器标定时,温度和湿度分别控制在 $(28 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 和 $(55 \pm 1)\%$,从 0 ~ 1.5 N 每间隔 0.1 N 连续加载砝码,分别测得对应的传感器输出电压。对标定数据直线拟合,结果如图 1 所示,表明该传感器具有优异的线性度。

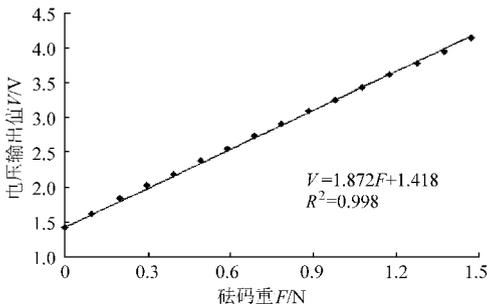


图 1 传感器标定结果直线拟合

Fig. 1 Linear fitting of sensor's calibration

由传感器标定结果的拟合直线得

$$V = 1.872F + 1.418 \quad (1)$$

式中 F ——加载砝码重, N

V ——加载时传感器输出电压, V

故得电压-附着力的转换公式

$$F' = 1\,000(V - 1.418) / 1.872 \quad (2)$$

式中 F' ——附着力, mN

1.2 传感器固定机构

如图 2 所示,传感器固定机构主要由底台、立柱和套筒 3 部分组成。传感器经传感器固定螺栓安装在能够沿立柱自由滑动的套筒上,套筒与立柱的紧固由套筒固定螺栓实现。位于底台右侧的宽槽用于放置测试滑板,窄槽可保证传感器能够调节到适合

的高度。调节倾角调整螺栓可使底台与水平面成任意倾斜角度,以测试蝗虫在不同倾角滑板的附着力。

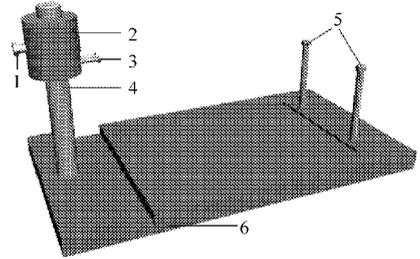


图 2 传感器固定机构示意图

Fig. 2 Diagram of sensor fixed mechanism

1. 套筒固定螺栓 2. 套筒 3. 传感器固定螺栓 4. 立柱 5. 倾角调整螺栓 6. 底台

1.3 数据采集卡选择

传感器输出信号经高共模抑制比放大电路去噪、滤波与放大后,转换成可满足数据采集卡采集量程范围的信号。为使传感器的精度不受数据采集卡分辨率的影响,选取美国 NI 公司的 PCI6010 作为蝗虫附着力测试系统的数据采集卡。该数据采集卡的输入/出分辨率均为 16 bit,采样频率最高可达 200 kHz,最大输入范围为 ± 5 V。

1.4 数据处理与界面显示程序

利用虚拟仪器技术及其开发语言 LabWindows/CVI 编写蝗虫附着力测试系统的数据处理与界面显示程序。该程序显示界面包括附着力显示窗口,开始、暂停、继续、结束操作按钮,采集卡数据通道选择按钮,采样进行指示灯和最大附着力显示窗口。

数据处理与界面显示程序流程如图 3 所示,点击 Start 按钮,采样开始,指示灯变亮,数据采集卡完成初始化并新建采集任务,然后对信号调理电路输出的模拟量按既定的频率采集,程序将采得的数据按式(2)转换成附着力并在显示窗口以轨迹图的形式显示。点击 Pause 按钮可暂停采样,点击 Continue 按钮可继续采样。点击 End 按钮,程序完成附着力轨迹图的绘制并保存轨迹图与采集到的数据,随后比较数据组中附着力大小并将最大附着力在 Max Attachment Force 窗口中显示,进而结束数据采集任务,关闭显示界面。

2 蝗虫在滑板表面附着力测试试验

2.1 试验材料与方法

运用设计的测试系统进行蝗虫在捕集滑板表面附着力的测试试验。选用棚内饲养的东亚飞蝗 (*locusta migratoria manilensis*) 成虫作为测试对象,分别以市售镀锌铁板、PVC 板和普通玻璃板为测试用捕集滑板,其表面特征参数如表 1 所示。

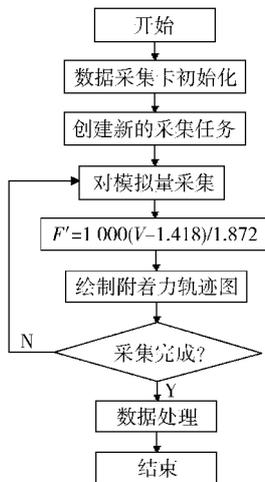


图 3 数据处理与界面显示程序流程图

Fig. 3 Program flow chart for data processing and interface display

表 1 不同滑板表面粗糙度与硬度

Tab. 1 Roughness and stiffness of surface of different slippery plates

| 参数 | 镀锌铁板 | PVC 板 | 普通玻璃板 |
|-------------------------|------|-------|-------|
| 粗糙度 $R_a / \mu\text{m}$ | 0.49 | 0.55 | 0.01 |
| 摩氏硬度 | 4.20 | 3.00 | 5.80 |

将选取的滑板分别裁成 $16 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ 大小,依次安放于传感器固定机构底台的宽槽内。由于亚洲小车蝗(*Oedaleus infernalis saussure*)在倾角为 40° 的镀锌铁板的滑移率可达 100% [4],因此对每种滑板的倾角依次调整为 30° 、 35° 和 40° 。蝗虫与传感器着力点通过长度约为 10 cm 的细线连接,调节套筒的高度使传感器着力点与蝗虫处于同一直线上。蝗虫在测试滑板表面爬行产生附着力,附着力通过细线传递给传感器,致使传感器产生电压信号,经信号调理电路完成去噪、滤波和放大,然后接入数据采集卡的 AD 通道,完成模数转换后输入计算机,通过式(2)转换成能够在界面窗口上显示的附着力。设定数据采集卡的采样频率为 10 kHz ,数据处理与界面显示软件的采样频率为 10 Hz ,采样点数设为 500 ,附着力实时显示窗口纵坐标的最大值设为 600 mN 。选取活性较好、体重相近的健康蝗虫,每 15 只作为一个测试组。对每只蝗虫重复进行 2 次测试,因而对于每种滑板及所对应的每种倾斜角度共进行 30 次测试。试验过程中维持与传感器标定时相同的温度与湿度,每组试验均保持连续性。

2.2 试验结果与分析

蝗虫在捕集滑板表面附着力测试试验中,附着力轨迹图与 500 个附着力数据分别以 .jpeg 形式与 .txt 形式保存到选定的文件夹,典型附着力轨迹图如

图 4 所示(滑板为 PVC 板,倾角为 35° 时),Max Attachment Force 窗口显示其最大附着力为 510.8 mN 。

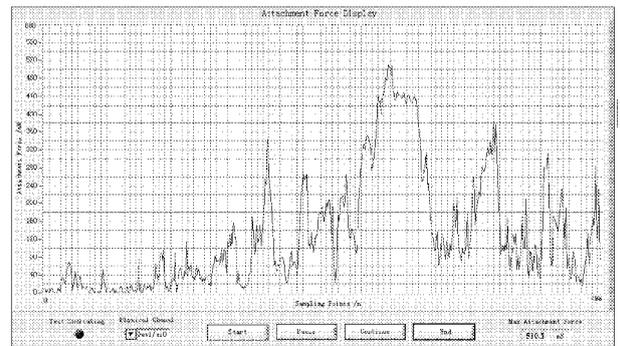


图 4 蝗虫在捕集滑板表面的附着力轨迹图

Fig. 4 Attachment force of locust on surface of slippery trapping plate

蝗虫在滑板表面附着力测试试验完成后,获得蝗虫在不同材料及所对应不同倾角滑板的最大附着力,如表 2 所示。由表可知,对于不同的滑板材料与倾角,蝗虫在其表面的最大附着力存在显著差别。滑板材料相同时,蝗虫的最大附着力随滑板倾角的增加而减小;倾角相同时,蝗虫在普通玻璃板表面的附着力最大,PVC 板居中,镀锌铁板最小。当滑板倾角从 30° 增至 35° 时,蝗虫最大附着力的降低幅度明显高于倾角从 35° 增至 40° 时附着力的降低幅度。蝗虫在镀锌铁板表面且其倾角为 40° 时的附着力最小,为 $(327.5 \pm 15.9) \text{ mN}$ 。

表 2 不同材料与倾斜角度滑板表面蝗虫的最大附着力
Tab. 2 Maximal attachment force of locusts on slippery plates with different materials and slanting angles

| 材料 | 倾角/ $^\circ$ | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|
| | 30 | 35 | 40 |
| 镀锌铁板 | 418.6 ± 21.5 | 350.4 ± 16.8 | 327.5 ± 15.9 |
| PVC 板 | 38.5 ± 26.3 | 487.3 ± 29.5 | 463.7 ± 22.1 |
| 普通玻璃板 | 649.2 ± 35.8 | 598.6 ± 28.7 | 574.8 ± 24.3 |

蝗虫在滑板表面的附着力由蝗虫附着系统的结构与滑板表面特征决定。蝗虫附着系统主要由具有坚硬末端的爪和柔软易变形的爪垫组成 [7],蝗虫附着系统的这种结构决定了其与附着物表面存在着机械锁合和柔性接触两种耦合方式 [8]。附着物表面粗糙度较大、硬度不高时,蝗虫爪与接触面形成机械锁合作用,产生较大的锁合力,保证其能稳固地附着与灵活地移动;附着物表面粗糙度较小、硬度较大时,蝗虫爪垫能够复制接触面的微形貌而获取较大的接触面积,从而产生较强的附着力,以实现稳固附

着。对于镀锌铁板、PVC 板和普通玻璃板,普通玻璃具有最高的表面硬度和最低的表面粗糙度,蝗虫爪不易利用其表面微结构作为稳固的附着点,故不能形成有效的机械锁合作用,但其爪垫能与之产生较强的柔性接触作用,因而具有较大的附着力。与镀锌铁板相比较,PVC 板具有相近的表面粗糙度和较低的表面硬度,蝗虫爪垫在此两种滑板表面不易形成柔性接触作用,但蝗虫爪更易嵌入 PVC 板,形成的机械锁合作用强于镀锌铁板,故与 PVC 板相比,蝗虫在镀锌铁板表面的附着力较小。较小的附着力意味着蝗虫在其表面具有较好的滑移效果,因此镀锌铁板比较适合用作光电诱导滑移捕集机械装置的落蝗滑板。蝗虫在镀锌铁板表面的附着力随着倾角的增加而减少,倾角从 35°增至 40°时附着力的

降低幅度明显低于从 30°增至 35°时,故捕集滑板的最小倾角宜在 35°~40°。

3 结论

(1) 蝗虫附着力测试系统可准确实现蝗虫在不同表面特征捕集滑板附着力的测试,能够满足优选捕集滑板过程中附着力的测试需求。

(2) 不同材料与不同倾角的滑板,蝗虫在其表面的附着力存在明显差别。对所测试的镀锌铁板、PVC 板与普通玻璃板,蝗虫的附着力随着倾角的增加而显著降低;对于确定倾角的滑板,蝗虫在镀锌铁板的附着力最小,当倾角为 40°时,附着力为 (327.5 ± 15.9) mN。故宜采用镀锌铁板为光电诱导滑移捕集机械装置的落蝗滑板,其最小倾角可为 35°~40°。

参 考 文 献

- 1 贾卫东,邱白晶,施爱平,等. 农用高压静电喷雾场的实验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 66~69.
Jia Weidong, Qiu Baijing, Shi Aiping, et al. Measurement of agricultural high-voltage electrostatic spraying field by using PD PA [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 66~69. (in Chinese)
- 2 杨超珍,吴春笃,陈翠英,等. 静电喷雾的突变特性分析和试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 72~75.
Yang Chaozhen, Wu Chundu, Chen Cuiying, et al. Analysis and experimental of drastic characteristics in electrostatic spraying [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 72~75. (in Chinese)
- 3 周强,徐瑞清,程小桐. 昆虫的生物光电效应与虫害治理应用[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(4): 70~72.
Zhou Qiang, Xu Ruiqing, Cheng Xiaotong. Bio-photo-electro effect of insects and its application in pest control [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(4): 70~72. (in Chinese)
- 4 王立新,周强,程小桐. 蝗虫在滑板表面滑移效应的测试[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2009, 30(3): 232~235.
Wang Lixin, Zhou Qiang, Cheng Xiaotong. Sliding effect test of locust on surface of slope plates [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009, 30(3): 232~235. (in Chinese)
- 5 Wang L X, Zhou Q, Xu S Y, et al. Investigation of the sliding friction behaviors of locust on slippery plates [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(24): 4 549~4 554.
- 6 Dai Z D, Stanislav N Gorb, Uli Schwarz. Roughness-dependent friction force of the tarsal claw system in the beetle *Pachnoda marginata* (Coleoptera, Scarabaeidae) [J]. The Journal of Experimental Biology, 2002, 205(16): 2 479~2 488.
- 7 Goodwyn P, Peressadko A, Schwarz H, et al. Material structure, stiffness, and adhesion: why attachment pads of the grasshopper (*Tettigonia viridissima*) adhere more strongly than those of the locust (*Locusta migratoria*) (Insecta: Orthoptera) [J]. Journal of Comparative Physiology A, 2006, 192(11): 1 233~1 243.
- 8 Jiao Y K, Gorb N S, Scherge M. Adhesion measured on the attachment pads of *Tettigonia viridissima* (Orthoptera, insecta) [J]. Journal of Experimental Biology, 2000, 203(12): 1 887~1 895.