

网棚养殖蝗虫吸捕机设计^{*}

朱志伟¹ 张晓辉¹ 刘玉升² 侯存良¹ 李晓贞¹ 宋涛¹

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

【摘要】 针对网棚养殖蝗虫的捕集问题, 设计了旋风分离式蝗虫吸捕机。使用 CFD 软件对吸嘴和分离装置的内部气流场进行了数值模拟。样机试验表明: 当吸嘴倾角为 75°、吸口气流速度为 14 m/s、吸嘴距地高度为 40 mm、机器前进速度为 0.4 m/s 时, 可以获得较高的吸捕率和较低的破碎率。实际作业时可根据蝗虫分布密度, 灵活调节吸口风速和机器前进速度, 以提高吸捕效率、降低能耗。

关键词: 蝗虫 网棚 养殖 吸捕机 设计 气流场模拟

中图分类号: S864.5; S499

文献标识码: A

Design of Locust Pneumatic Capturing Machine for Artificial Raised Locusts in Net House

Zhu Zhiwei¹ Zhang Xiaohui¹ Liu Yusheng² Hou Cunliang¹ Li Xiaozhen¹ Song Tao¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2. College of Plant-protecting, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract

To solve the problem of capturing artificial raised locusts in net house, a cyclone locusts capturing machine is designed. By using CFD software Fluent the airflow field in the suction nozzle and separate device is simulated. The test results of the sample machine indicated that when the inclination angle of suction nozzle was 75°, the airflow speed of the suction nozzle was 14 m/s, the distance between the suction nozzle and ground was 40 mm and the forward speed of the capturing machine was 0.4 m/s, high rate capturing and low rate of break up were got. When practically working in locusts artificial raising net house, the airflow speed of the suction nozzle and the forward speed of the capturing machine were adjusted according to the distribution density of locusts on the ground, to improve the capturing efficiency and reduce the energy consumption.

Key words Locust, Net House, Artificial Raising, Pneumatic Capturing Machine, Design, Airflow Field Simulation

引言

由于蝗虫具有很高的营养价值和利用价值, 近年来兴起了蝗虫的网棚养殖。随着蝗虫网棚养殖技术的发展成熟和养殖规模不断扩大, 传统用网袋进行手工捕集蝗虫的方式已经不能满足实际的捕集需要。现有的蝗虫捕集机械主要是草原上消灭蝗灾用

的, 分离装置大都采用惯性分离方式, 依靠拖拉机带动风机和整机工作, 机器尺寸较大, 受蝗虫养殖网棚内部空间的限制该类蝗虫吸捕机不能在蝗虫养殖网棚内使用。因此, 为了解决网棚养殖蝗虫的捕集问题, 亟需设计一种小型养殖蝗虫捕集机械^[1~6]。

本文主要对网棚养殖蝗虫吸捕机的吸嘴、分离装置和卸料装置等结构进行设计, 对吸嘴和分离装

收稿日期: 2008-07-06 修回日期: 2008-08-22

^{*} 科技部“十一五”攻关项目(2005BA529A01)和国家科技基础条件平台农业环境微生物菌种资源整理、整合项目(2005DKA21201-1-1)

作者简介: 朱志伟, 硕士生, 主要从事农业机械设计及理论研究, E-mail: zhuzhiwei315@163.com

通讯作者: 张晓辉, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械设计及理论研究, E-mail: zhangxh@sdau.edu.cn

置的内部气流场进行数值模拟,并对样机的吸捕性能进行正交试验。

1 总体结构及工作原理

1.1 总体结构

网棚养殖蝗虫吸捕机采用气动吸捕原理和旋风分离方式^[2],它通过电动机带动离心式引风机工作,在吸嘴处产生负压气流,实现快速捕集网棚内养殖蝗虫。该机结构简单、捕集效率高、易于操作,吸嘴可以方便地移动作业,实现对地面和棚网上蝗虫的吸捕。

整机结构如图1所示,主要由吸嘴、分离装置、卸料装置、收集箱、电动机、风机和减速器等组成。

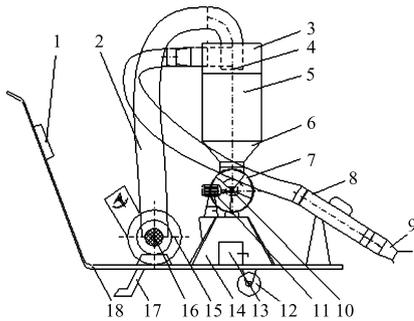


图1 网棚养殖蝗虫吸捕机结构简图

Fig. 1 Structure of locust pneumatic capturing machine for artificial raising locusts in net house

1. 电源控制开关 2. 排气管 3. 分离装置顶盖 4. 过滤网
5. 分离圆筒 6. 分离锥体 7. 叶轮式闭风卸料器 8. 吸管硬管
9. 吸嘴 10. 减速器 11. 交流电动机 12. 地轮 13. 收集箱门
14. 收集箱 15. 离心式引风机 16. 三相异步电动机 17. 支撑腿
18. 小车

1.2 工作原理

吸捕机工作时,在吸口处负压气流的作用下,蝗虫和气体的混合流经吸嘴和输送管道由分离装置入口沿分离圆筒侧壁切向进入分离装置。在离心力和重力的共同作用下,混合流沿分离圆筒内壁旋转向下流动,流动过程中由于与壁面的摩擦力作用、加上空间变大,混合流的速度逐渐降低,随之气流失去携带蝗虫的能力,蝗虫被沉降到分离锥体底部,气体到达分离锥体底部以后转而向上,经排气管道和风机排出。闭风卸料装置逐渐将沉降下来的蝗虫转移到收集箱内,同时阻挡气流从收集箱进入分离装置,从而提高了分离效率。

2 蝗虫悬浮速度的测定

蝗虫悬浮速度是蝗虫的吸捕和沉降收集的重要参数,为了使蝗虫吸捕机达到较高的吸捕率,需要对养殖蝗虫的悬浮速度进行测定。将养殖蝗虫按照虫

体长度分为3组,每组取20只,使用漂浮速度试验台对养殖蝗虫虫体的悬浮速度进行了测定,试验装置如图2所示,测定结果如图3所示。

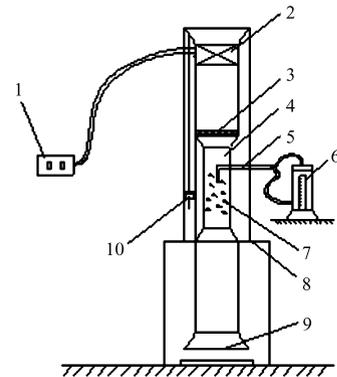


图2 蝗虫悬浮速度试验台

Fig. 2 Test-bed of locusts floating speed

1. 电源 2. 风机 3. 金属过滤网 4. 有机玻璃管 5. 毕托管
6. YJB-150型补偿式微压计 7. 蝗虫 8. 支撑架 9. 进料口
10. 风门调节手柄

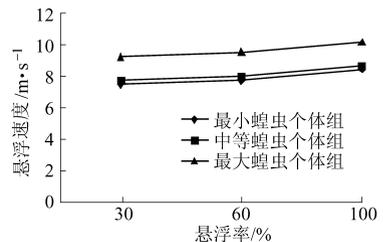


图3 蝗虫虫体悬浮速度

Fig. 3 Floating speed of artificial raising locusts body

测定结果表明:养殖蝗虫虫体的悬浮速度为7.52~10.20 m/s。由于活体蝗虫在吸捕过程中的飞动躲避更容易悬浮起来,因此个体相同的活体蝗虫悬浮速度小于该测定值^[7]。

3 工作部件的设计

3.1 吸嘴

吸嘴是养殖蝗虫吸捕机实现吸捕作业的关键部件,它影响着吸捕机的吸捕效率和能量消耗,吸嘴的结构如图4所示。

3.2 吸嘴内部气流场的数值模拟

运用计算流体动力学软件对吸嘴内部及吸口延长区域的气流场进行了数值模拟^[8],结果如图5~6所示。

通过模拟结果可以看出:在吸嘴内部气流速度不大于蝗虫可能撞击破碎的速度(20 m/s)条件下,吸口延长区域气流速度大于10 m/s的区域范围较小;而介于7~8 m/s的区域范围较大,此气流速度对于死体蝗虫虫体吸捕较困难,但是对于活体蝗虫,借助于蝗虫飞动躲避时的惯性可以较容易实现吸捕。

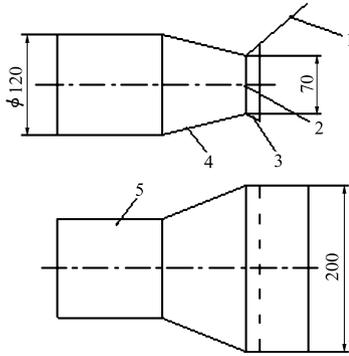


图4 吸嘴结构简图

Fig.4 Sketch map of the suction nozzle

1. 吸嘴上挡板 2. 吸口 3. 吸嘴下挡板 4. 过渡段 5. 连接段

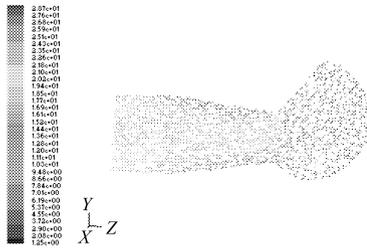


图5 吸嘴纵剖面速度矢量图

Fig.5 Vertical section velocity vectors of suction nozzle

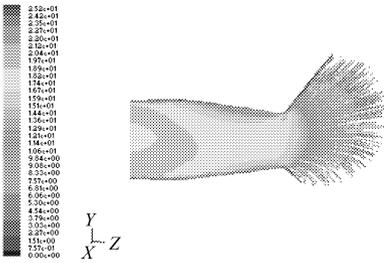


图6 吸嘴纵剖面迹线图

Fig.6 Vertical section path lines of suction nozzle

3.3 分离装置

分离装置分离性能的好坏直接影响到蝗虫的沉降效果,进而影响吸捕机的吸捕效率,分离装置结构如图7所示。

3.4 分离装置内部流场的数值模拟

旋风式分离装置内部流场是复杂的三维强旋流场,其主流是双层旋流,外侧向下旋转,中心向上旋转,气流的切向速度占主导地位,气流带动固体颗粒运动的轨迹十分复杂。目前,尚无理想的物理和数学模型,只能定性分析各种因素对颗粒分离效

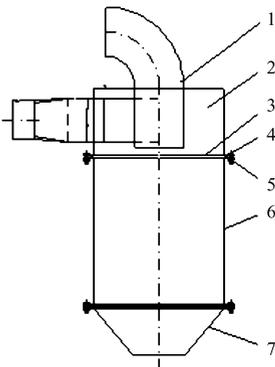


图7 分离装置结构图

Fig.7 Sketch map of separate device

1. 排气管 2. 顶盖 3. 连接盘 4. 螺栓 5. 密封圈 6. 分离圆筒 7. 分离锥体

果的影响,大多采用数值模拟的方式^[9]。

运用计算流体动力学软件对分离装置内部气流场进行了数值模拟^[8],结果如图8~9所示。

从模拟结果可以看出:分离装置上部靠近边界周围的气流层气流速度约为15~17 m/s;中心区域的气流速度约为9~11 m/s。分离装置底部空间内靠近边界周围的气流层气流速度约为6~8 m/s;底部中心区域的气流速度降低到2~4 m/s,小于养殖蝗虫的悬浮速度。因此,蝗虫与气体的混合流到达分离装置底部以后,可以实现蝗虫从气流中的分离与沉降。

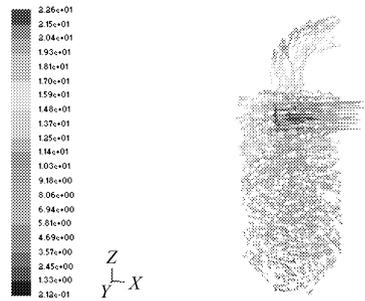


图8 分离装置内部流场速度矢量图

Fig.8 Vector map of separate device

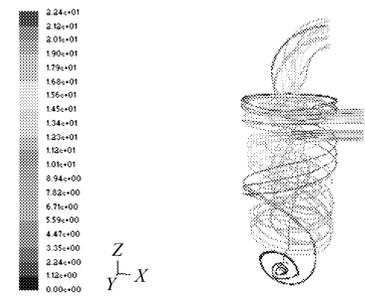


图9 分离装置内部气流迹线图

Fig.9 Path lines map of separate device

3.5 叶轮式闭风卸料装置

叶轮式闭风卸料装置的作用是将分离装置沉降下来的蝗虫转移到收集箱内,同时阻挡收集箱内的气流通过装置底部进入分离装置,从而对分离装置起到闭风作用、提高分离效率。卸料装置主要包括圆筒、叶轮和叶轮轴以及圆筒盖3部分。

4 养殖蝗虫吸捕机吸捕性能试验

4.1 蝗虫死体

为了验证网棚养殖蝗虫吸捕机的实际作业效果,采用正交试验设计方法对样机的吸捕性能进行了试验^[10~11],主要考察机器前进速度 v_a 、吸嘴距地高度 H 、吸口气流速度 v 、吸嘴倾角 θ 4个因素对吸捕性能的影响,因素取值方式如图10所示,因素水平取值如表1所示。

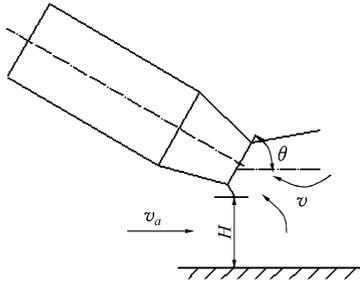


图10 吸嘴各因素水平取值方式

Fig. 10 Factor and level values choose mode of the suction nozzle

表1 因素水平表

Tab. 1 Factors and levels

水平	因素			
	吸嘴距地高度 A/mm	机器前进速度 B/m·s ⁻¹	吸口气流速度 C/m·s ⁻¹	吸嘴倾角 D/(°)
1	40	0.2	12	45
2	80	0.4	14	60
3	120	0.6	16	75

选用 L₉(3⁴) 正交表进行试验, 主要测试蝗虫吸捕机的吸捕率和被吸捕蝗虫的破碎率。于 2008 年 4 月份对养殖蝗虫死体进行了吸捕试验, 试验结果如表 2 所示。

通过极差分析可以看出: 影响吸捕率的因素主

表2 正交试验结果

Tab. 2 Results of orthogonal experiments

试验序号	A	B	C	D	吸捕率 /%	破碎率 /%
1	1	1	1	1	86.59	6.22
2	1	2	2	2	89.58	8.45
3	1	3	3	3	90.41	10.06
4	2	1	2	3	91.84	8.48
5	2	2	3	1	91.38	10.13
6	2	3	1	2	90.56	6.29
7	3	1	3	2	90.58	10.31
8	3	2	1	3	89.80	6.01
9	3	3	2	1	87.30	9.20
(k _{j1}) ₁	88.86	89.67	88.98	88.42		
(k _{j2}) ₁	91.26	90.25	89.57	90.24		
(k _{j3}) ₁	89.23	89.42	90.79	90.68		
(R) ₁	2.40	0.83	1.81	2.26		
(k _{j1}) ₂	8.24	8.34	6.17	8.52		
(k _{j2}) ₂	8.30	8.20	8.71	8.35		
(k _{j3}) ₂	8.45	8.52	10.17	8.18		
(R) ₂	0.21	0.32	4.00	0.34		

次顺序为: A、D、C、B, 较优方案为: A₂D₃C₃B₂; 影响破碎率的因素主次顺序为: C、D、B、A, 较优方案为: C₁D₃B₂A₁。

从吸捕率和破碎率的最佳试验组合可以看出 D₃ 和 B₂ 都包含在内; 因素 A 较优方案中各包含水平 1 和水平 2, 且 A 对吸捕率的影响程度更加显著, 但是考虑到实际吸捕活体蝗虫的过程中, 吸嘴距地高度稍高, 蝗虫可能会从底部空隙逃跑, 因此在吸嘴不贴近地面吸进尘土的前提下, 尽量降低距地高度, 因素 A 选用水平 1; 因素 C 较优方案中包含水平 1 和水平 3, 综合考虑对吸捕效果的影响, C 选用水平 2。

综上所述, 最佳组合取为 D₃C₂A₁B₂, 即吸嘴倾角为 75°、吸口气流速度为 14 m/s、吸嘴距地高度为 40 mm、机器前进速度为 0.4 m/s。

上述试验用的蝗虫虫体是市场购买的, 由于经过较长时间的冷冻保存和多次冷冻、融化, 蝗虫的虫体强度大大降低, 因此造成试验结果中破碎率较高。

4.2 蝗虫活体

根据上述最佳试验组合, 于 2008 年 5 月底对活体蝗虫在网棚进行了吸捕试验。试验中因素 A、B、D 取上述试验中最佳组合水平值, 只对影响破碎率最主要的因素 C(吸口气流速度)取 3 个水平。对趴伏在地面的蝗虫直接采取上述试验方案吸捕; 由于趴伏在棚网上的蝗虫抓伏力较大, 单靠气流的作用不能吸捕下来, 考虑到贴近网面吸捕不存在吸进尘土的问题, 因此对于棚网上的蝗虫在吸捕时吸嘴紧贴棚网面, 采取边驱赶边吸捕的方式。试验结果如表 3 所示。

表3 网棚内活体蝗虫吸捕试验

Tab. 3 Experiments of live locusts in net house

试验序号	A /mm	B /m·s ⁻¹	C /m·s ⁻¹	D /(°)	吸捕率 /%	破碎率 /%
1	40(0)	0.4	12	75	75.6	1.32
2	40(0)	0.4	14	75	78.1	1.87
3	40(0)	0.4	16	75	81.25	2.61

注: 表中 40(0)表示吸捕地面蝗虫时吸嘴距地高度取 40 mm, 吸捕棚网上的蝗虫时吸嘴距网面距离取 0 mm。

由试验结果可以看出: 随着吸口气流速度的增大, 蝗虫的吸捕率和破碎率都逐渐升高, 但是升高的幅度都不大, 相对于吸捕率来说破碎率升高的幅度更小。

将活体蝗虫网棚内的吸捕试验结果与死体蝗虫的吸捕试验结果对比可以看出: 由于吸捕过程中养殖蝗虫的飞动和躲避特性, 活体蝗虫吸捕率要低于死体蝗虫的吸捕率约 10 个百分点, 而网棚内剩余的

蝗虫可以留作产卵和繁殖之用;活体蝗虫的吸捕试验中破碎率较低,远小于死体蝗虫的破碎率。

5 结论

(1) 蝗虫吸捕机主要用于蝗虫养殖网棚内蝗虫的捕集,减轻了捕集蝗虫时的劳动强度,整机具有结

构紧凑、捕集效率高、捕集蝗虫破碎率低、易于操作等优点。

(2) 网棚内吸捕作业时,在蝗虫分布密度不同的条件下可以灵活调节吸口气流速度和机器前进速度,从而提高吸捕效率、减少能耗。

参 考 文 献

- 徐瑞清,周强,王书茂. 蝗虫灾害的机械化捕集治理技术发展[J]. 农业机械学报,2005, 36(11): 165~167, 180.
Xu Ruiqing, Zhou Qiang, Wang Shumao. Technical development on mechanized control of locust[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 165~167, 180. (in Chinese)
- 朱志伟,张晓辉,刘玉升,等. 气吸式蝗虫捕集技术的发展与蝗虫的养殖利用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 126~131.
Zhu Zhiwei, Zhang Xiaohui, Liu Yusheng, et al. Present situation of sucking pneumatic techniques for capturing locusts and utilization of artificial raising locusts[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(10): 126~131. (in Chinese)
- 庞凌云,段玉峰,陈锦屏,等. 蝗虫的功能成分与开发前景[J]. 动物经济学报,2004, 8(1): 54~57.
Pang Lingyun, Duan Yufeng, Chen Jinping, et al. Function ingredients of grasshopper and their developing prospect[J]. Journal of Economic Animal, 2004, 8(1): 54~57. (in Chinese)
- 孟涛,任炳忠. 蝗虫资源开发与利用的研究进展[J]. 北华大学学报:自然科学版,2002,3(6): 485~490.
Meng Tao, Ren Bingzhong. The research advance of developing and utilization of the grasshopper resource[J]. Journal of Beihua University: Natural Science, 2002, 3(6): 485~490. (in Chinese)
- 马耀,杜文亮,李克夫,等. 草原蝗虫吸捕机:中国,CN2105840U[P]. 1992-06-03.
- 段学群,李海,段平. 移动式风力灭虫机:中国,CN2703407Y[P]. 2005-06-08.
- 刘建民. 草地蝗虫悬浮速度的研究[J]. 安徽农业科学,2007, 35(14): 4 236~4 237.
Liu Jianmin. Study on suspension speed of grassland locust[J]. J. Anhui Agri. Sci., 2007, 35(14): 4 236~4 237. (in Chinese)
- 韩占忠,王敬. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.
- 张百磷. 旋风分离器的设计技巧[J]. 石化技术,2003, 10(2): 17~21.
Zhang Bailin. Design technique of cyclone separator[J]. Petrochemical Industry Technology, 2003, 10(2): 17~21. (in Chinese)
- 柴永强. 草地蝗虫吸捕机吸捕率的试验研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
Chai Yongqiang. An experimental study the pneumatic trapping rate of the grassland locust pneumatic trapper[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 方开泰,马长兴. 正交与均匀试验设计[M]. 北京:科学出版社,2001.