

基于温度-含氧量的全自动堆肥通风控制系统设计*

徐德全¹ 石海峰¹ 赵亮¹ 邓昌彦¹ 倪福川² 姚娟²

(1. 华中农业大学动物科技学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学理学院, 武汉 430070)

【摘要】 采用工业计算机和下位机的监测控制方式,开发了基于温度-含氧量的全自动堆肥通风控制系统,并实现了软硬件的配套设计。运行试验表明:采用该工艺堆肥,时间一般为2周,高温期(55~65℃)可维持9 d以上,能有效杀灭病原微生物,产品稳定性好;可在整个堆肥过程中实现自动在线监控堆体温度、含氧量和湿度,运行稳定。

关键词: 堆肥 通风 温度 含氧量 控制系统

中图分类号: S141.4; X71 **文献标识码:** A

Design of Temperature/Oxygen Concentration-based Aeration Control System for Aerobic Composting

Xu Dequan¹ Shi Haifeng¹ Zhao Liang¹ Deng Changyan¹ Ni Fuchuan² Yao Juan²

(1. College of Animal Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. College of Basic Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract

Temperature/oxygen concentration-based aeration control system was designed and realized to control the process of aerobic composting. The outline, method, function and process of realization of the system were described in detail. By 2-week aerobic composting with this system, it showed that the system could run stably during composting and the composting temperature, humidity, and oxygen concentration can be monitored by the system. The time of temperature remained at 55~65℃ was more than 9 days. The pathogenic microorganism can be killed and the stability of product is good.

Key words Composting, Aeration, Temperature, Oxygen concentration, Control system

引言

影响堆肥过程的因素很多,其中通风被认为是堆肥系统中最重要的因素^[1],合理的通风不仅可以提高堆肥产品质量,而且可以节省能耗^[2~3]。因此,堆肥通风控制系统设计、运行和管理的优化不仅有助于堆肥技术的大力推广和广泛应用,而且有助于温室气体减排。国外的通风控制技术研究较国内早,已针对基于时间参数、温度参数、耗氧速率和综合控制等进行了深入研究。目前,我国有机固体废物好氧堆肥过程多采用基于温度或时间的控制方法,与国外通风控制技术存在明显差距。基于此,本

文开发一种基于温度-含氧量的全自动堆肥通风控制系统,加强堆肥过程的在线监控,降低运行费用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

4-72-3.6A型离心通风机,流量2664~5268 m³/h;IPC-610型工业控制计算机,Microsoft Windows XP操作系统;CYWPIC2N600型温度传感器,测量范围0~100℃;Honeywell MF010-0-LC型含氧量传感器,测试范围0~25%;TDR-3A型温湿度传感器,测量范围:温度-20~80℃,湿度0~100%;堆肥池长3 m、宽2 m、高1.7 m。

收稿日期:2008-08-29 修回日期:2008-11-10

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD14B05)和湖北省农业科技创新基金资助项目(4006-07601703)

作者简介:徐德全,副教授,博士,主要从事设施养殖和分子育种研究, E-mail: dequanxu@126.com

通讯作者:邓昌彦,教授,博士生导师,主要从事养猪生产技术研究, E-mail: dengchy@mail.hzau.edu.cn

1.2 系统设计原理

堆肥过程实质是好氧微生物在适宜碳氮比、含水率、pH 值、含氧量等条件下,利用堆料的碳源和氮源,将原料中不稳定的有机物转化为稳定的有机物的过程,该过程伴随着热量产生和气体挥发。按照好氧堆肥过程的发生、发展规律,堆肥过程可分为 3 个阶段:第 1 阶段为升温期,第 2 阶段为高温期,第 3 阶段为降温期,即熟化期。在不同阶段,堆体对氧气的需求量不同;不同的报警温度对氮的损失、臭气的产生和微生物活性都能产生明显的影响^[4-5]。因此,本研究中堆肥系统的通风控制选用基于温度-含氧量参数。

1.3 系统控制的实现方式

采用工业控制计算机和下位机的监测控制方式。将堆肥的状态参数信号(温度、含氧量和含水率,见表 1)采集并传输至工控机,工控机根据控制模型,将控制参数传至下位机,下位机控制风机的通断,调节堆肥温度。同时在后台工控机上保存实时数据,根据这些实时数据可优化肥料反应过程的参数。

表 1 堆肥环境控制参数要求

Tab.1 Composting environment and control parameters

参数	范围	精度	响应时间/采集点深度/	
			min	mm
含水率	0~100%	±0.5%	<3	600
温度	0~100℃	±0.05℃	<1	600
含氧量	0~25%	±0.5%	<3	600

2 结果与分析

2.1 控制系统的物理结构

控制系统的物理结构如图 1 所示。采用 RS485 网络,4 个下位机,分别采集堆体上、下层温度及中

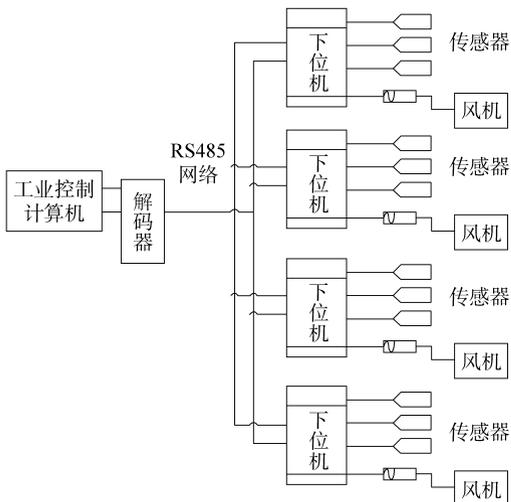


图 1 控制系统的物理结构框图

Fig.1 Physical structure of the control system

层温湿度和含氧量参数,下位机 I/O 输出开关量,控制继电器,调节风机开闭时间,控制堆体温度。工控机和下位机使用解码器,通过 RS485 网络通信,接口采用 RS232/485 转换器。

2.2 下位机系统结构

下位机系统结构,主要由 MCU 子系统、信号调理子系统、控制信号输出子系统、数字通信子系统构成,如图 2 所示。

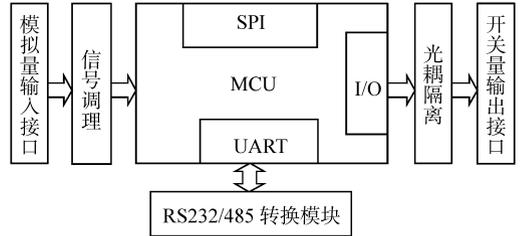


图 2 下位机系统结构图

Fig.2 Lower system structure diagram

MCU 子系统采用超低功耗 Flash 型 16 位单片机,该系统具有强大的数据处理能力、丰富的片上外围模块和方便的开发方式,它提供 32KB Flash ROM、1KB RAM、2 个 UART、SPI 和 8 路 10 位高精度 A/D 变换器,最高时钟频率为 8 MHz。

信号调理子系统主要是将传感器输出的标准电流信号(4~20 mA)转换成电压信号,并通过滤波及电平转换电路传输至 MCU 的模数转换接口。采用标准传感器,主要目的是提高信号传输的可靠性和各模块之间接口的兼容性。另外,MCU 可以迅速判断传感器是否发生故障。

控制信号输出子系统采用了光耦隔离,减小了继电器等干扰源对 MCU 的影响,提高了整个系统的可靠性。

数字通信子系统采用的是 RS232/485 转换模块。

2.3 控制系统的功能

(1) 独立监测环境温度、堆体上层和下层温度、中层温湿度和含氧量参数。

(2) 判断显示当前所处的阶段。为避免由于温度的波动造成系统误判所处阶段,系统 5 s 刷新一次数据,若采样温度连续 100 次高于第 1 阶段限值,则系统自动进入第 2 阶段。同理,当系统进入第 2 阶段后,若采样温度连续 100 次低于第 2 阶段温度限值,则自动进入第 3 阶段。

(3) 显示当前累计运行时间。

(4) 不同阶段(升温、高温、降温)和报警状态的风机通断时间,界限温度、报警温度和含氧量等控制参数均可由用户自定义。

(5) 在一定时间间隔 t_1 (5 s) 进行显示数据刷新,在一定时间间隔 t_2 (1 h) 进行自动写操作,以利

于采集数据安全。

(6) 具有手动保存数据和采集数据的自定义打印等功能。

(7) 系统短时间掉电、死机、关机等情况对已采集到的和将采集到的数据不构成威胁,且在短时间掉电后,系统自动重启、打开程序,且按照原设定好的程序继续运行,系统运行时间以计算机时钟为标准。

(8) 按下开始运行按钮,系统将清除该堆体已采集的所有数据,并从第1阶段开始采集数据和控制风机的通断;系统可随时保存已经记录的数据,也可以在不同的时间按下保存文件按钮,以不同的文件名保存从开始运行起采集到的所有数据;在修改参数后按下确认设定按钮,所做修改方可生效;按下停止运行按钮后,将停止该堆体的温度采集和风机控制,为防止误操作和保证数据安全,系统出现对话框,必须输入文件名并存盘才能停止该堆体;数据打印用于打印该堆体已经采集到的数据。用户可以选择打印的起点、终点和数据间隔。

(9) 在堆体运行阶段,各堆体显示框中有红色或绿色的指示灯。绿灯表示正在运行,红灯表示风机已经停止。

(10) 设定第1阶段温度为0~40℃,第2阶段温度为55~65℃,第3阶段温度为30~40℃,含氧量为10%~17%。那么当堆体中层温度大于等于65℃时,风机运行;当堆体中层温度在55~65℃之间时,根据含氧量决定风机是否运行,即当堆体中层含氧量小于等于10%时,风机运行,当含氧量大于等于17%时,风机停止;当堆体中层温度低于55℃,风机不运行。

控制系统界面如图3所示。

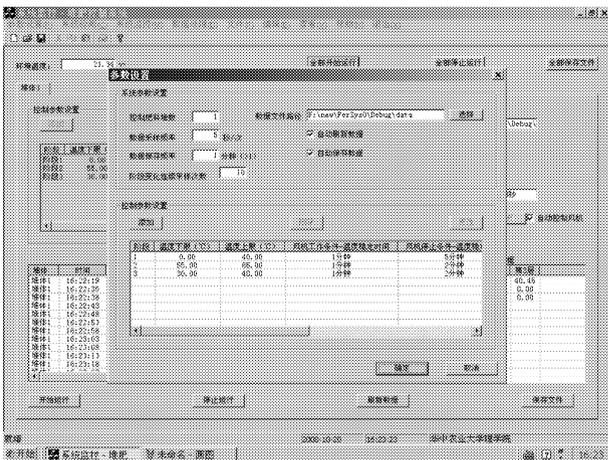


图3 控制系统界面

Fig. 3 Interface of the control system

2.4 控制系统的实际运行效果

试验地点为国家家畜工程技术研究中心精品种

猪场。试验采用3 m×2 m×1.7 m(长×宽×高)堆肥池,以稻壳糠为调理剂,与新鲜猪粪以碳氮质量比为25:1混合,并将含水率调整到60%,设定报警温度为65℃。根据风压和风量的要求,选用了4-72-3.6A型离心通风机。通过控制系统监测环境温度、堆体上层和下层温度、中层温湿度和含氧量参数的变化并控制风机的通断。试验过程中加水以保持堆体物料的适宜含水率和较高的微生物活性。

对堆肥试验过程中堆体和环境温度进行在线监控表明,堆肥过程经历了完整的3个阶段,即升温阶段、高温阶段和降温阶段。堆制初期,堆料中富含易分解的有机物,在好氧微生物的作用下快速分解,并释放大量的热,堆体温度很快达到设定温度,并维持了9 d的高温期(55~65℃),符合国家粪便无害化卫生标准的要求[6]。随后堆体温度逐渐下降,进入降温腐熟期。在试验的过程中,系统能按照预定的要求控制风机,正确计算和记录各个阶段及风机的运行时间,有效地显示和保存数据(图4、图5),运行稳定,表现出了可靠的性能。

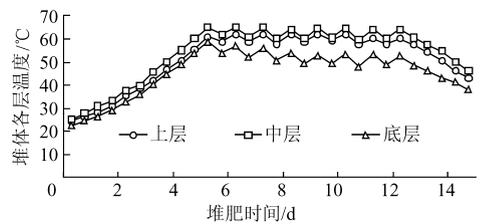


图4 试验堆体各层温度-时间变化曲线

Fig. 4 Temperature changes of a testing pile

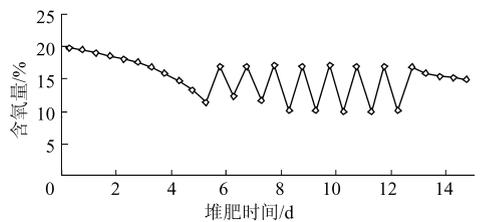


图5 试验堆体中层含氧量-时间变化曲线

Fig. 5 Oxygen concentration changes of a testing pile

3 结束语

设计的全自动堆肥通风控制系统可同时监测堆体上、中、下3层温度及中层湿度、含氧量参数变化,可根据堆体温度和含氧量参数变化自动控制风机开关,并可自定义设置不同阶段(升温、高温、降温)和报警状态(65℃)的风机通断时间、含氧量、界限温度和报警温度等控制参数。系统5 s刷新显示一次监测结果,1 h自动保存当前采集数据。采用该控制系统堆肥,可更好控制堆体温度和含氧量,时间一般为2周,高温期(55~65℃)可维持9 d以上,能有效杀

灭病原微生物,产品稳定性好,符合国家粪便无害化 无人操作,全自动控制,尤其适用于规模化养殖场。卫生标准的要求^[6],且在整个堆肥过程中,可实现

参 考 文 献

- 1 Diaz M J, Madejon E, Lopez F, et al. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process[J]. *Process Biochemistry*, 2002, 37(10): 1 143~1 150.
- 2 Fukumoto Y, Osada T, Hanajima D, et al. Patterns and quantities of NH₃, N₂O and CH₄ emissions during swine manure composting without forced aeration-effect of compost pile scale[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 89(2): 109~114.
- 3 常勤学. 通风控制方式对动物粪便堆肥过程和氮磷转化的影响[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
Chang Qinxue. Effect of animal manure composting and transformation of nitrogen and phosphorus with different aeration control modes[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006. (in Chinese)
- 4 朱能武, 邓昌彦, 熊远著, 等. 基于温度-时间的好氧堆肥通风控制系统的设计与运行效果[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(4): 282~286.
Zhu Nengwu, Deng Changyan, Xiong Yuanzhu, et al. Design and operational effect of time/temperature-based aeration control system for aerobic composting[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(4): 282~286. (in Chinese)
- 5 倪梅娣. 猪粪好氧堆肥过程中氧气浓度变化规律的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
Ni Meidi. Study on the oxygen concentration during the aerobic composting process [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. (in Chinese)
- 6 GB7959—87. 粪便无害化卫生标准[S].
GB7959—87. Sanitary standard for the non-hazardous treatment of night soil[S]. (in Chinese)
- 7 吕黄珍, 韩鲁佳, 杨增玲. 猪粪麦秸反应器好氧堆肥工艺参数优化[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(3): 101~105.
Lü Huangzhen, Han Lujia, Yang Zengling. Optimization of aerobic composting parameters on pig slurry-wheat straw reactor [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(3): 101~105. (in Chinese)
- 8 吕黄珍, 韩鲁佳, 张锐. 试验室好氧堆肥反应器系统性能试验[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(1): 91~96.
Lü Huangzhen, Han Lujia, Zhang Rui. Experimental investigation on the performance of laboratory-scale aerobic composting reactor system[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(1): 91~96. (in Chinese)

(上接第 66 页)

参 考 文 献

- 1 孙宇瑞, 汪懋华, 马道坤, 等. 冲量法谷物流量测量系统的试验研究[J]. *农业机械学报*, 2001, 32(4): 48~50.
Sun Yurui, Wang Maohua, Ma Daokun, et al. Experimental research on grain-flow-measurement system using an impact sensor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2001, 32(4): 48~50. (in Chinese)
- 2 周俊, 刘成良. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器弹性元件设计[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(4): 110~114.
Zhou Jun, Liu Chengliang. Load cell design for parallel beam impact-based grain mass sensor[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(4): 110~114. (in Chinese)
- 3 周俊, 苗玉彬, 张凤传, 等. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器田间试验[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(6): 102~105.
Zhou Jun, Miao Yubin, Zhang Fengchuang, et al. Field testing of parallel beam impact-based yield monitor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(6): 102~105. (in Chinese)
- 4 周俊, 周国祥, 苗玉彬, 等. 悬臂梁冲量式谷物质量流量传感器阻尼设计[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(11): 121~123, 127.
Zhou Jun, Zhou Guoxiang, Miao Yubin, et al. Damping design of impact-based grain yield sensor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2005, 36(11): 121~123, 127. (in Chinese)
- 5 丁林峰, 李耀明, 徐立章. 稻谷压缩试验的接触力学分析[J]. *农机化研究*, 2007(12): 112~115.
- 6 杨方飞, 阎楚良. 谷物在纵向轴流滚筒脱粒空间中的运动状态分析[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(11): 48~50, 25.
Yang Fangfei, Yan Chuliang. Movement analysis of cereal in axial flow threshing roller space[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(11): 48~50, 25. (in Chinese)
- 7 John O H. LS-DYNA keyword user's manual, version 970[M]. California: LSTC, 2003.
- 8 John O H. LS-DYNA theory manual[M]. California: LSTC, 2006.