

好氧发酵无线温湿度控制平台研究*

刘冠雄¹, 李爱传^{1*}, 李吉进², 胡军¹

(1. 黑龙江八一农垦大学电气与信息学院, 大庆 163319;

2. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:【目的】利用堆肥发酵的方式处理农业废弃物是当前农业环境污染的热点问题, 不但能够降低农业废弃物产生的环境污染, 而且还能将其转化为有机肥料, 替代化肥重新作用于农业生产当中, 文章进行好氧发酵无线温湿度控制平台的研究有利于提高堆肥质量并缩短堆肥周期。【方法】该平台利用 STC15F2K60S2 单片机作为下位机控制核心, 控制温湿度传感器 SHT11 对好氧发酵反应器中 4 个不同深度的发酵点位进行温湿度检测, 将检测数据通过 jzx875 无线通讯设备, 实时传输到基于 Visual Studio 2010 搭建的上位机软件平台, 进行数据的显示、存储以及发酵状态的判定, 并为发酵环境的调控提供决策意见。当好氧发酵反应器中的温度或湿度监测值超出预设的阈值区间, 下位机控制加热、加湿、通风设备及搅拌电机转动, 使反应器中的发酵反应处于最优发酵环境, 能够缩短发酵周期、提高发酵效率。【结果】通过设计对照实验, 对好氧发酵无线温湿度控制平台进行有效性测试。与对照组相比, 经该平台监测调控的实验组, 能够较快提高堆体温度进入高温发酵期且完成整个发酵周期所需的时间明显少于对照组。在整个实验过程中, 下位机系统能够根据预设阈值有效调控电机对反应器进行温湿度调控, 上位机界面能够在线实时监测堆体温湿度数据并将检测到的数据有效存储到数据库当中。【结论】该平台能够较好地在线监测发酵堆体的反应情况并进行环境调控, 使发酵堆体处于最优发酵环境当中, 继而达到缩短发酵周期、提高农业废弃物处理效率的目的。

关键词: 单片机; 好氧发酵; 无线通讯; 控制系统; 上位机

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180513

0 引言

我国是农业大国, 每年生产 9 亿 t 左右秸秆, 但其利用率不足 40%^[1]; 同时生产 38 亿 t 畜禽粪便, 利用率不足 60%^[2]。由于处理不当, 农业生产过程中制造的大量有机废弃物没能合理利用, 反而成为了严重的环境污染源, 给环境保护造成了巨大压力^[3]。

堆肥化是将有机固体废弃物通过堆肥发酵实现无害化、减量化和资源化的有效途径。

收稿日期: 2018-09-15

第一作者简介: 刘冠雄(1993—), 男, 汉族, 黑龙江大庆人, 硕士研究生。研究方向: 机电一体化技术。

Email: liuguanxiong@126.com

※通信作者简介: 李爱传(1980—), 男, 汉族, 黑龙江肇东人, 博士, 副教授, 硕士生导师。研究方向: 机电一体化技术。Email: aichuanli@126.com

*基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0800602); 黑龙江省自然科学基金面上项目(C2018050)

2018年10月

由于好氧发酵堆肥产生的高温可以杀死有机废弃物中的病原菌,同时高温菌在发酵过程中对有机质的降解速度快,因此目前大多数发酵堆肥采用高温好氧发酵的堆肥方式^[4-5]。

文章建立的好氧发酵无线温湿度控制平台,主要作用于反应器式好氧发酵堆肥处理。以单片机作为下位机控制核心,控制温湿度传感器对发酵堆体不同深度的发酵点位温湿度进行实时监测。通过无线数传模块,将检测到的温湿度数据传输到上位机软件,由上位机将采集数据显示并存储到数据库当中。同时,根据采集的数据对发酵的阶段和状态进行评定,发送适合发酵环境的温湿度阈值到下位机,由下位机根据温湿度阈值判断当前环境状态下是否需要进行电气调控,继而驱动电气控制设备的电磁阀开闭,辅助调整发酵反应器内的温湿度值,使发酵堆体处于最优发酵环境。

1 平台整体搭建

该平台主要通过监测好氧发酵反应器堆体内4个不同深度点位(5 cm、10 cm、20 cm、40 cm)的温湿度变化,为好氧发酵反应器的堆肥生产提供指导意见以及控制决策。整个平台由下位机—无线传输模块—上位机—数据库—电气控制设备5个部分组成。以STC15F2K60S2单片机作为下位机控制核心,控制SHT11温湿度传感器对发酵堆体不同深度的温湿度值进行实时监测。通过jzx875无线数传模块,将检测到的温湿度数据,经由无线信道,传输到基于Visual Studio 2010搭建的上位机软件系统当中,由上位机进行采集数据的显示和存储,并根据所采集的数值对发酵状态进行评定,判断当前发酵阶段下的最佳温湿度区间,继而发送温湿度阈值到下位机系统,由下位机根据温湿度阈值判断是否需要对外发酵环境进行电气调控,继而驱动继电器控制电气设备的电磁阀开闭,使发酵堆体处于最佳发酵环境下。除此之外,通过上位机软件可以查询数据库中发酵反应的历史数据,查看发酵堆体的温湿度实时变化,同时掌握农业专家系统对于当前发酵状态的指导意见。

2 硬件部分设计

该设计的硬件部分,由下位机控制系统和无线通讯系统组成。下位机控制系统主要由STC15F2K60S2单片机、12864液晶显示屏、SHT11温湿度传感器、TTL转RS485模块、蜂鸣器报警装置、LED报警指示灯、继电器和电源模块组成。

2.1 下位机控制系统及电路设计

下位机系统的控制核心选择宏晶科技的STC15F2K60S2单片机,具有运行速率高、超低功耗等优点,其性价比远超工控车间常用的PLC和ARM系列控制系统。12864液晶显示器用来显示好氧发酵反应器中4个不同深度发酵点位的温湿度和温湿度阈值。反应器内多点温湿度由SHT11温湿度传感器实时检测,使用单总线与单片机控制器进行通信,并显示到12864液晶显示屏上。将TTL转RS485模块的TTL侧连接到单片机串口TXD、RXD,另一侧连接到jzx875无线通讯模块的A模块,即可实现单片机将采集数据发送到

无线传输模块，进行无线传输。选用有源蜂鸣器和发光二极管完成反应器温湿度自动控制系统的报警工作环节。下位机系统的电路设计如图 1 所示。KA1、KA2、KA3 为 5V 直流继电器，用单片机驱动三极管作为继电器开关，实现用小电流控制大电流的电气控制操作。

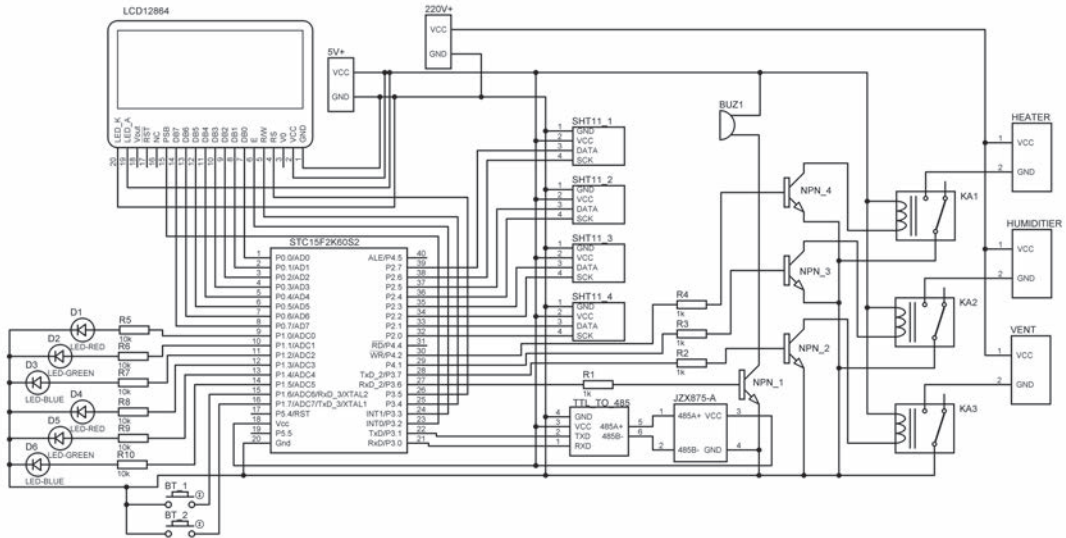


图 1 下位机系统电路

Fig.1 The circuit diagram of lower computer system

在蜂鸣器报警电路以及继电器控制电路中，通过单片机 I/O 口输出高电平信号时，信号经过限流电阻到达 NPN 三极管基极，使三极管导通形成回路，从而驱动蜂鸣器 BUZ1 报警以及 5 V 直流继电器开始吸合动作。系统设置 2 个红色 LED 灯（D1，D4）、2 个蓝色 LED 灯（D3，D6）和 2 个绿色 LED 灯（D2，D5），用于显示发酵监测的状态标志。系统通过 AC220V 进行供电，经电源模块稳压滤波后得到 5V DC 电压，以满足单片机下位机系统的供电需求。

2.2 无线通讯系统

无线通讯系统包括 jzx875 无线通讯模块和 RS485 转 USB 模块。jzx875 无线通讯模块是高集成度的小功率半双工无线数传模块，其内部采用透明传输的方式，无须用户编写设置与传输的程序，即可无线传输任何大小的数据。模块的通讯传输需要模块 A 和模块 B 配对使用，交替作为数据发送方和数据接收方^[6]。

该设计采用 jzx875 无线通讯模块的 RS485 接口作为数据传输接口。当单片机采集到温湿度检测数据，通过串口将数据发出，经过 TTL 转 RS485 模块进行数据转换，以 RS485 接口形式连接到 jzx875 无线通讯模块的模块 A，由模块 A 将采集数据经由无线传输信道，以发送给接收端模块 B，模块 B 将采集数据接收后，经 RS485 转 USB 模块，将接收数据传输到上位机软件中进行数据的显示、存储，并根据当前发酵阶段和发酵状态，由上位机将温湿度调控阈值发送给 jzx875 模块 B，传回指令到无线模块 A，最后传输到

2018年10月

下位机控制系统。根据返回的指令内容，设置匹配当前发酵阶段的温湿度阈值。无线通讯系统如图2所示。

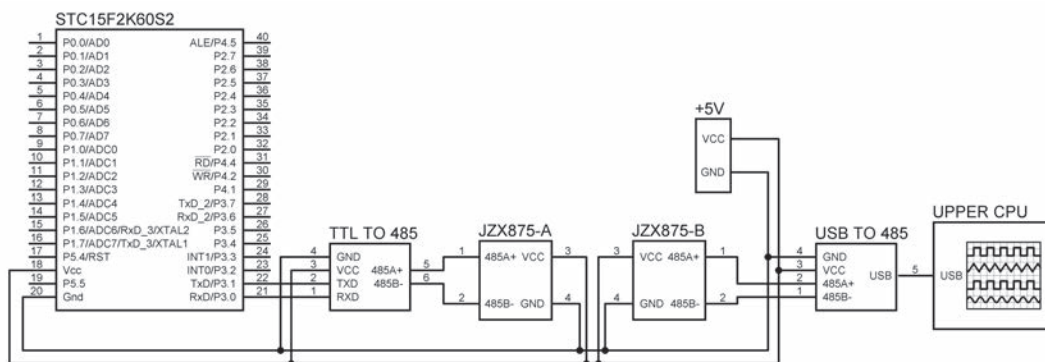


图2 无线通讯系统

Fig.2 Wireless communication system

3 上位机软件系统设计

该系统上位机软件部分，基于 Microsoft Visual Studio 2010 编译环境采用 C++ 编程语言进行编写。软件部分主要负责接收下位机监测到的数据，对数据进行显示、存储，并根据采集的数据，评定当前发酵状态，同时将温湿度阈值经 jzx875 无线传输到下位机，为温湿度调控设定监测阈值。软件系统主要由实时监控、阈值设定、历史数据、专家系统 4 个功能界面组成^[7]。

3.1 实时监控界面

实时监控界面将采集数据以文字和图表两种形式进行显示、更新，方便系统管理人员实时掌握发酵反应器内的环境变化，同时将采集得到的数据存储到本地数据库当中，作为专家系统给出发酵评定的参考依据。实时监控界面如图3所示。其中，接收数据框内由左到右依次分别为 5 cm、10 cm、20 cm、40 cm 处传感器检测到的温湿度数据。图3红色曲线为监测点位的温度变化曲线，绿色曲线为检测点位的湿度变化曲线。用户可以通过点击切换传输模式的按钮选项，调整通讯模式为自动接收并发送检测信号到下位机系统，实现自动收发。

3.2 阈值设定界面

在上位机阈值设定界面中，农业专家系统根据数据库数据进行分析，通过文本框为用户提供当前发酵状态下温湿度的最佳阈值。用户通过参考专家系统的意见，可以手动设定温湿度阈值的上下限区间，继而发送温湿度阈值区间的信号给下位机。阈值设定界面还包含数据库模拟功能，便于用户设计发酵环境对比参量，通过手动修改数据库数据，将模拟数据与实时监控的发酵数据进行结合，作为农业专家系统的算法输入量，对发酵

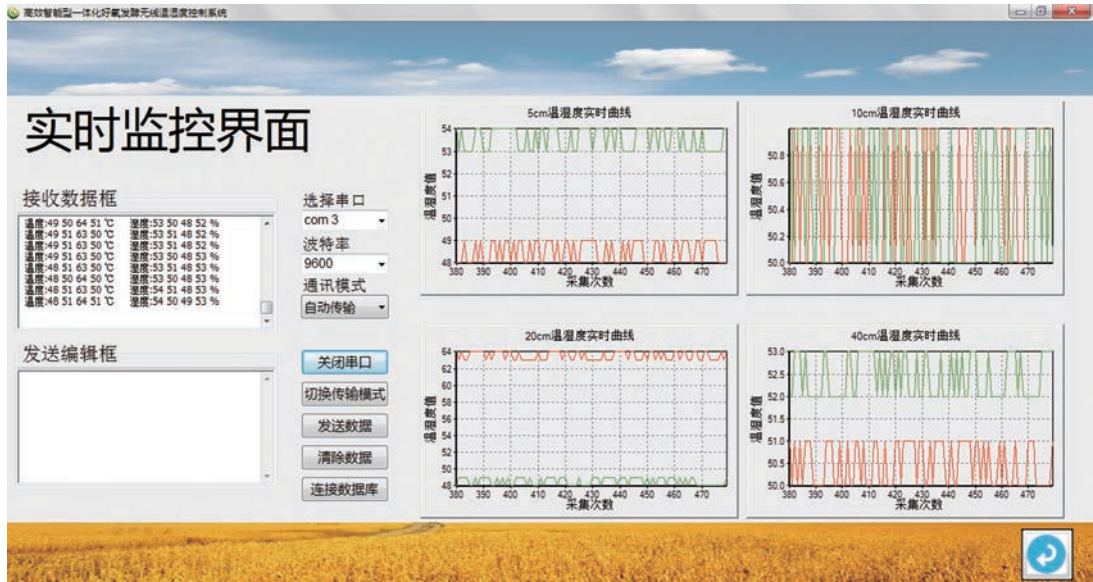


图 3 上位机实时监控界面
 Fig.3 Realtime monitoring interface of upper computer

堆体在模拟数据下可能产生的变量波动以及发酵状态进行预测和分析，从而得到最佳环境温湿度阈值，实现了通过模拟数据获得预测反馈的效果。用户可以通过阈值设定界面，在数据库相关操作项中，输入数据表关键字段（数据 ID）以及多点位温湿度数据，对数据表中指定字段的内容进行数据增添、删除、修改、查询的操作。

3.3 历史数据界面

用户在历史数据界面，输入指定时间区间内需要查看的采集数据。根据用户输入的查询起始时间和查询截止时间，从数据库中调取该时间段中好氧发酵反应器内采集的温湿度数据。用户通过在界面中勾选指定深度点位的监测项（如 5 cm 温度、5 cm 湿度、10 cm 温度、20 cm 湿度），以列表形式显示指定时间范围内的监测值以及该时段下专家系统提供的合理阈值和用户自行设定的阈值区间。通过勾选监测的时间间隔，可以显示在指定时间区间内，间隔固定时间的平均采样数据。历史数据界面如图 4 所示。

3.4 专家系统界面

专家系统界面展示系统监测到的堆体温度曲线，并根据软件后台预设置的农业发酵参数标准及发酵腐熟度判定算法，将所采集的数据作为智能算法学习样本的输入量代入算法公式，结合其他发酵处理数据进行横向对比分析，判断当前时刻处于整个发酵周期的哪个阶段、评估发酵当前状态如何，并提出指导性的意见^[8]。

专家系统界面如图 5 所示，对当前发酵实验所采集的数据进行曲线绘制和实验状态分析。软件系统根据截止到当前时刻所采集的数据进行数据分析并提供参考结论，方便实验人员掌握发酵堆体的反应状态以及发酵堆体中不同深度的温度变化走势。为实验人员提供控制决策^[9]。

2018年10月



图4 上位机历史数据查询界面

Fig.4 Historical data query interface of upper computer

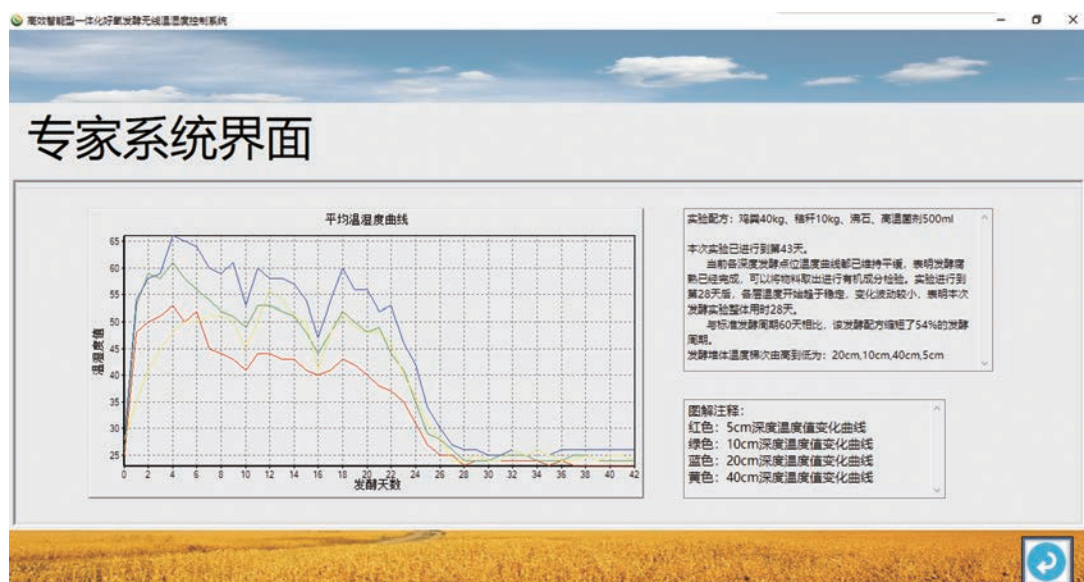


图5 专家系统界面

Fig.5 Expert system interface

4 数据库设计

该系统利用 Mysql 建立数据库, 将传感器采集获取的各个深度的温湿度数据以及采集时间存储到数据表当中, 作为上位机专家系统智能算法的学习样本, 可供发酵处理进

行横纵向比较分析。系统采集并存储数据的同时，也会基于当前采集状态，将最优环境阈值和用户设定的阈值，同步存储到数据表中^[10]。

软件系统中的所有理论指导意见，都是软件算法对数据库中已经获得的数据进行调用，结合算法公式，进行智能学习得出的总结性结论。通过数据的不断检测和存储，提高数据样本量的相关拟合度，使专家系统给出的发酵指导意见，逐渐趋近于农业系统对于发酵堆体的正确理论指导^[11]。通过理论指导实践，使发酵周期缩短，发酵生成的腐殖酸肥力更强，提高发酵生产效率。利用 Navicat Premium 软件对 Mysql 数据库进行可视化建立与维护，建立用于存储发酵堆体温湿度数据的结构表。数据库表结构如表 1 所示。

表 1 温湿度采集数据表结构

Table 1 Data structure of temperature and humidity collection

字段名	字段类型	说明
id	int (10)	该表的主键，索引，自动增加，该字段不能为空
time	varchar (255)	该条记录创建的时间，默认是当前时间
temperature_5 cm	int (10)	传感器采集 5 cm 深度点位的温度值
humidity_5 cm	int (10)	传感器采集 5 cm 深度点位的湿度值
temperature_10 cm	int (10)	传感器采集 10 cm 深度点位的温度值
humidity_10 cm	int (10)	传感器采集 10 cm 深度点位的湿度值
temperature_20 cm	int (10)	传感器采集 20 cm 深度点位的温度值
humidity_20 cm	int (10)	传感器采集 20 cm 深度点位的湿度值
temperature_40 cm	int (10)	传感器采集 40 cm 深度点位的温度值
humidity_40 cm	int (10)	传感器采集 40 cm 深度点位的湿度值
advise_T_lower_threshold	int (10)	专家系统建议的下位机控制系统温度阈值下限
advise_T_upper_threshold	int (10)	专家系统建议的下位机控制系统温度阈值上限
advise_H_lower_threshold	int (10)	专家系统建议的下位机控制系统湿度阈值下限
advise_H_upper_threshold	int (10)	专家系统建议的下位机控制系统湿度阈值上限
user_T_lower_threshold	int (10)	用户设定的下位机控制系统温度阈值下限
user_T_upper_threshold	int (10)	用户设定的下位机控制系统温度阈值上限
user_H_lower_threshold	int (10)	用户设定的下位机控制系统湿度阈值下限
user_H_upper_threshold	int (10)	用户设定的下位机控制系统湿度阈值上限

5 实验设计与结果分析

为验证该设计好氧发酵无线温湿度控制系统的有效性，设计了两组好氧发酵实验分别作为实验组和对照组，同时进行堆肥实验。在发酵堆肥的过程中，利用该系统对两组发酵反应器进行数据采集，并对实验组进行电气调控。实验设计如表 2 所示。

表 2 好氧发酵实验设计

Table 2 Experimental design of aerobic fermentation

类别	原料	监测采集	电气调控
实验组	鸡粪沼泥 35 kg、秸秆 5.5 kg	是	是
对照组	鸡粪沼泥 35 kg、秸秆 5.5 kg	是	否

2018年10月

当对照实验进行到第40 d时,对两组实验的温度曲线进行观察总结,观测到以下差异。

(1) 实验组的温度曲线在实验进行到第30 d时即开始趋于平缓,4个发酵深度点位的监测值变化波动不大;对照组在实验进行到第33 d时,4个发酵深度点位的温度监测值才开始趋于稳定。

(2) 实验组在堆肥开始后升温较快,在实验进行到第5 d时,各层温度达到第一次升温峰值;对照组在堆肥开始后升温较慢,在第9 d时各层温度达到峰值。

(3) 实验组在第一次达到温度峰值后温度缓慢下降,在发酵进行到第11 d时进入二次升温,并在第13 d时达到二次升温峰值;对照组在达到第一次升温峰值后开始持续降温,没有二次发酵腐熟升温的迹象。

结合对照实验的结果可以得出:经好氧发酵无线温湿度控制系统监测并调控的发酵实验组,能够快速升温进入到高效腐熟状态,并且进入二次升温期进行饱和发酵,整个发酵周期也较未进行电气调控的对照组缩短了10%,显著提高了农业废弃物的处理效率。

6 结论

该文设计的好氧发酵无线温湿度控制平台,系统结构简单、操作直观、拓展性强、灵敏度高、性能稳定、成本较低。实现了对发酵反应器内堆体温湿度的在线实时监测,并能自动控制电气设备对发酵环境进行加热、通风、加湿。一方面确保发酵堆体处于微生物适宜发酵的环境,另一方面避免了盲目进行电气设备调控引起的电力资源消耗,缩短了发酵周期,使农业废弃物处理效率大大提高。监测现场具有完善的报警处理系统,远程监测终端能够查询发酵历史数据、获取农业专家系统的意见,并掌握发酵堆体未来发酵状态的走势变化,满足了现场监测和远程监控的要求。

参考文献

- [1] 中国水稻网.我国每年秸秆产量有9亿吨利用不到四成.福建稻麦科技,2017,35(2):39.
- [2] 佚名.全国每年38亿吨畜禽废弃物综合利用率只有6成.家禽科学,2018(3):5.
- [3] 李吉进,郝晋珉,邹国元,等.畜禽粪便高温堆肥生物化学变化特征研究.土壤通报,2005,36(2):234~236.
- [4] 张海波,武占银,郑风玲,等.基于单片机的堆肥好氧发酵时间-温度反馈控制系统研究.安徽农业科学,2015,43(29):364~367.
- [5] 文昊深,李永红,彭绪亚,等.好氧发酵水分蒸发对通风量和堆体温度的影响.环境卫生工程,2006,14(5):14~16.
- [6] 耿立中,王鹏,马骋,等.RS485高速数据传输协议的设计与实现.清华大学学报(自然科学版),2008,48(8):1311~1314.
- [7] 李爱传.寒地水稻节水灌溉自动控制系统设计与试验研究.大庆:黑龙江八一农垦大学,2017.
- [8] 蒋秀莲,宋祎宁.改革视角下物联网在精准农业中的应用研究.江苏农业科学,2018,46(6):342~345.
- [9] 王子洋,秦琳琳,吴刚,等.基于切换控制的温室温湿度控制系统建模与预测控制.农业工程学报,2008,24(7):188~192.
- [10] 刘坚,吴为胜.大田自动施肥数字化管理系统设计开发.农机化研究,2017,39(10):233~235.
- [11] 许世卫.中国现代农业基准数据工程的战略思考.中国科技论坛,2015(4):130~134.

Research on wireless temperature and humidity control platform for aerobic fermentation

Liu Guanxiong¹, Li Aichuan^{1*}, Li Jijin², Hu Jun¹

(1. College of Electrical and Information, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: [**Purpose**] Using composting fermentation to handle agricultural production waste is a hot topic in agricultural environmental pollution control, because it not only reduces the environmental pollution from agricultural production waste, but also provides a method to produce organic fertilizer which could be used as a substitute of chemical fertilizer. However, how to effectively improve the quality of compost and shorten the composting cycle deserves in-depth investigations. [**Method**] A platform has been developed which utilizes STC15F2K60S2 MCU as the control core of the lower computer. It controls SHT11 sensors to detect temperature and humidity at four different depths of fermenting points in the aerobic fermentation reactor, and transmits the detection data to the upper computer platform based on the Visual Studio 2010 programming software, through the wireless communication equipment called jzx875. The upper computer system displays the transmitted data on the interface, saves the data in the computer database, makes a definition about the fermentation condition and shows its decision-opinion to change the fermentation environment by regulating the electrical equipment. When the value of temperature or humidity in the aerobic fermentation reactor exceeds the threshold, the lower computer drives the solenoid valve of the electrical equipment to transformation. It will also regulate the rotation of motors to detect and control the environmental variables on the detecting points where electrical control in the fermentation reactor is needed, in order to make the fermentation reaction in the best environment and improve the efficiency of fermentation with shorten the fermentation period. [**Result**] A set of experiments have been designed to test the effectiveness of wireless temperature and humidity control platform for aerobic fermentation. Compared with the control group, the experimental group monitored and regulated by the platform could raise temperature faster and finish the fermentation cycle with less time than the formal. The lower computer could regulate the electrical equipment effectively according to the threshold to change the fermentation environment at the reactor. The upper computer can monitor the fermentation environment indexes timely and save the detection data in the database effectively. [**Conclusion**] The platform can monitor the reactions of the fermentation reactor on-line and regulate the environment, in order to make the reactor in the best conditions for fermentation, then achieve the goal of shortening the fermentation cycle and improving the efficiency of agricultural waste treatment.

Key words: MCU; aerobic fermentation; wireless communication; control system; upper computer