

基于物联网技术的仓储香蕉成熟度智能监测与预警系统设计

张竞超¹, 云利军^{1,2*}, 王一博¹, 王坤¹

(1. 云南师范大学信息学院, 昆明 650500; 2. 云南光电信息技术重点实验室, 昆明 650500)

摘要: 为了达到对香蕉成熟度的无损检测, 减少由于过度存放及处理不及时造成的损失, 基于物联网技术设计并实现了一套仓储香蕉成熟度智能监测与预警系统。该系统包括智能仓储数据采集终端、手持无线中继器和后台数据服务器 3 个部分, 智能仓储数据采集终端将采集到的仓储香蕉的温度、湿度、二氧化碳和氨气等环境信息通过手持无线中继器传输到后台数据服务器, 然后基于神经网络识别算法判断给出香蕉的成熟度状态和预警信息。测试结果表明, 该系统可以有效地对仓储香蕉的成熟度状态进行监测和预警, 提示用户进行及时的处理, 从而大大降低香蕉的损失率, 具有非常高的实用价值。

关键词: 无损检测; 香蕉; 成熟度; BP 神经网络; STM32; GPRS

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)04-0745-06

Warehousing tobacco leaf mildew intelligent monitoring and early warning system

ZHANG Jingchao¹, YUN LJjun^{1,2}, WANG Yibo¹, WANG Kun¹

(1. School of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500;

2. Yunnan Key Laboratory of Opto-electronic Information Technology, Kunming 650500)

Abstract: In order to achieve nondestructive testing of banana maturity and reduce losses caused by excessive storage and untimely processin, an intelligent monitoring and early warning system for storage banana maturity was designed and implemented based on Internet of Things technology. The system includes three parts: intelligent warehousing data collection terminal, handheld wireless repeater and background data server. The intelligent warehousing data collection terminal transmits the environmental information such as temperature, humidity, carbon dioxide and ammonia stored in the collected banana to the background data server through the handheld wireless repeater, and then determines the maturity status and warning information of the banana based on the neural network. The test results show that the system can effectively monitor and warn the maturity status of the stored bananas, prompting the users to deal with them in time, thus greatly reducing the loss rate of bananas, and has very high practical value.

Key words: nondestructive testing; banana; maturity; BP neural network; STM32; GPRS

中国的香蕉产量从 2005 年的 629 万 t 增长到 2015 年的 1 246.63 万 t, 大部分农产品进入一个智能种植、智能物流、信息化营销新阶段。对于香蕉产业, 其智能化仓库管理应用较少, 尤其是在容易发生霉变的仓储管理阶段, 其智能检测管理水平较低, 多年来由于处理不及时造成香蕉的过度成熟甚至霉变造成了极大的损失^[1]。香蕉的成熟度能直接反映香蕉的品质状态, 也影响到其销售价格, 所以在香蕉存储过程中监测其成熟度至关重要。如何对香蕉的成

熟度进行智能化、自动化无损检测是目前研究的一个难点。实现对香蕉成熟度快速分级, 及时上货架, 对提高香蕉的经济效益具有很重要的意义^[2]。现阶段对水果成熟度检测的主要技术包括: 冲击震动检测技术^[3]、图像识别检测技术^[4]、声学检测技术^[5]、电子鼻技术等^[6], Nayeli 等^[7]研究了在计算机视觉获取的理化及颜色信息的基础上, 采用多变量分析法建立仅以颜色评价“马尼拉”芒果成熟度的系统, 侯俊才^[8]研究了一种基于石英晶体微天平(QCM)气敏

收稿日期: 2018-12-21

基金项目: 云南省应用基础研究计划重点项目(2018FA033)和云南师范大学研究生科研创新基金(yjs2018129)共同资助。

作者简介: 张竞超, 硕士。E-mail: zjingchao@foxmail.com

* 通信作者: 云利军, 博士, 教授。E-mail: yunlj@163.com

传感器阵列的香蕉成熟度无损检测方法。冲击震动检测和图像识别检测，技术门槛较高、成本较大，实际使用较为困难；电子鼻技术通过气敏传感器对香蕉度状态进行检测，但是其为单机系统，检测范围有限，无法完成大面积仓储环境下香蕉成熟度的整体监测。

本研究使用传感器、无线射频和 GPRS 技术，根据香蕉成熟过程中发生变化的特征气体，在仓储环境中布置多个包含硫化氢、二氧化碳、氨气、酒精浓度和温湿度探测传感器的终端；优化了数据采集终端与手持中继节点之间的通讯方式，中继节点进行了便携化设计，采集终端优化了功率消耗，系统同时采用数据预处理和 BP 神经网络的组合识别算法，成功达到了对大面积仓储香蕉成熟度智能识别和预测的目的。

1 系统总体结构

本系统主要包括仓库采集终端、无线手持中继器、监控管理中心 3 个部分，其结构如图 1 所示。其工作流程为：采集终端通过传感器采集其附近环境的温湿度和各种相关气体浓度信息，手持中继器唤醒终端，终端通过无线射频技术将数据传输给无线手持中继器，手持中继器通过 GPRS 网络将数据发送到监控管理中心后台服务器，后台服务器服务器完成数据滤波、传感器的标较、数据存储，最终通过训练完成的神经网络预测模型得出直观的香蕉成熟度状态，在发现香蕉即将发生霉变或已霉变时及时通过监测系统发出报警提示仓库管理人员进行处理。

2 系统硬件设计

2.1 数据采集终端设计

本系统数据采集终端功能是利用主控板控制相应传感器采集香蕉仓储环境温湿度信息以及二氧化碳、硫化氢气体传、氨气和乙醇气体相关浓度信息，当手持中继节点连接后，控制无线收发芯片将所采集当数据传入手持中继节点进行下一步处理。本系统数据采集终端主控板采用的微处理器型号为 STM32F103C8T6，该型微处理器有着高性价比、低功耗、丰富合理的外设，是一款基于 ARM Cortex-M 内核的 32 位的微控制器，主频可达 72MHz，拥有 64KB 的 FLASH，20K 的 SRAM，还拥有 2 个 12 位模 A/D 转换器、3 个 USART 接口、2 个 SPI 接口等，满足了本系统对接口的需求。本设计数据采集终端气体传感器使用的是郑州炜盛公司生产的二

氧化碳气体传感探头 MG-811、硫化氢气体传感探头 MG-136、氨气气体感应探头 MQ-137、乙醇气体感应探头 MQ-3；温湿度传感器采用的是广州奥松电子有限公司生产的 DHT11；无线收发芯片采用的是 NORDIC 生产的 nRF24L01，用于将传感器采集的数据传入手持中继节点。为降低采集终端功耗，采集采用“休眠-唤醒”的方式对外发送数据，即每 5 min 进行一次自我唤醒，扫描手持端信号，如果一定范围内有手持端存在，将采集的数据传输至手持中继转发设备进行下一步处理。仓库数据采集终端原理示意图见图 2。

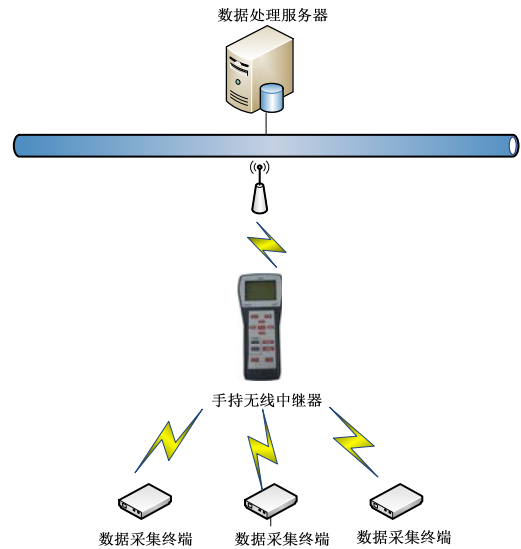


图 1 系统总体结构图

Figure 1 System overall structure diagram

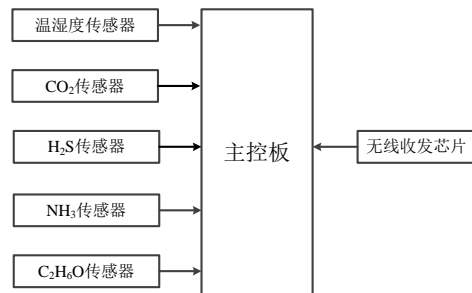


图 2 数据采集原理示意图

Figure 2 Schematic diagram of data acquisition principle

2.2 手持无线中继器设计

手持无线中继器主要完成唤醒附近采集终端接受数据以及使用 GPRS 网络上传数据的功能，主控同样选用微处理器型号 STM32F103C8T6 的主控板。手持无线中继节点同时包含 LCD12864 液晶显示屏，实时显示被唤醒节点的运行状态和采集数据状况，支持多个采集节点状态切换。在本设计中，

当中继节点的 nRF24L01 无线射频芯片与数据采集终端建立后开始接受数据采集终端传来的数据, 同时采用 GPRS 和 Internet 作为数据传输中介, 实现手持中继设备与监控中心之间的数据传输。本系统选用 SIM900A 模组作为 GPRS 数据传输模块。手持无线中继器原理示意图如图 3 所示。

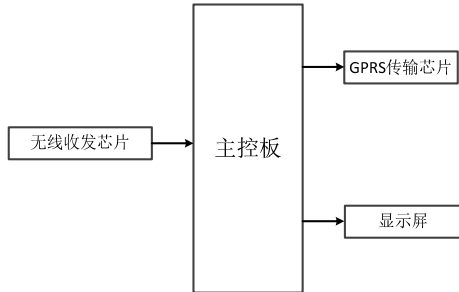


图 3 手持无线中继器原理示意图

Figure 3 Schematic diagram of handheld relay nodes

3 系统算法研究与软件设计

3.1 基于 BP 神经网络的香蕉成熟度识别算法

人工神经网络以其具有自学习、自组织、较好的容错性和优良的非线性逼近能力, 在模式识别领域中应用非常广泛。误差反向传播神经网络(简称 BP 网络)具有非线性映射能力强、容错性好和处理速度快等点, 特别适合处理需要同时考虑许多因素和条件的、不精确和模糊的信息处理问题^[9]。BP 神经网络分类识别器首先需要使用训练样本进行学习, 然后才能分类识别。

将仓库数据采集终端采集的香蕉仓储环境的 6 种参数作为 BP 网络的输入层, 按人们熟悉的方式, 根据香蕉成熟过程外观情况变化, 将香蕉成熟度变化过程的状态分成“待成熟”、“成熟”、“腐烂”3 种, 将青绿色外观的香蕉定义为“待成熟”状态、全黄色定义为“成熟”状态、黄色带有较多斑点定义为“腐烂”状态。如图 4 所示, 为此采用 3 层反馈 BP 神经网络进行分析建模, 神经元的个数分别为: 输入层为 6, 中间隐含层为 8, 输出层为 3, 其具体结构如图 5 所示。通过对神经网络反复训练学习, 最终得到可以分类香蕉成熟度状态的模型。

每一层上的神经元都通过权重与其相邻的层上神经元相互连接^[10]。BP 神经网络隐含层和输出层上的某神经元 j 的输出由下式确定: BP 神经网络隐含层和输出层上的某神经元 j 的输出由公式 1 确定:

$$O_j = f_j(n_j) = \left(\sum_j w_{ji} x_i + \theta_j \right) \quad (1)$$

其中上式中: $f(n)$ 为神经元的激发函数; x_i 为该神经元的输入; w_{ji} 是从神经元 j 到 i 的连接权值;

激发函数采用连续可微的非线性 Sigmoid 函数:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

该函数具有如下的特性: 当 x 趋近于负无穷时, $f(x)$ 趋近于 0; 当 x 趋近于正无穷时, $f(x)$ 趋近于 1; 当 $x=0$ 时, $f(x)=0.5$ 。

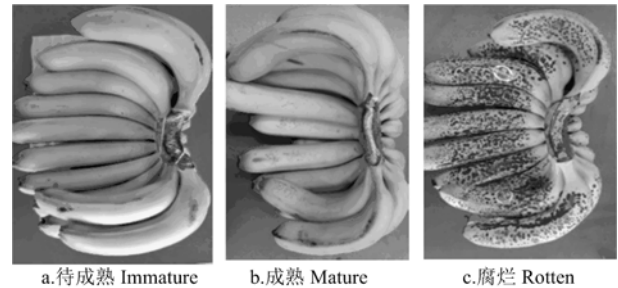


图 4 香蕉成熟度状态分类

Figure 4 Banana maturity classification

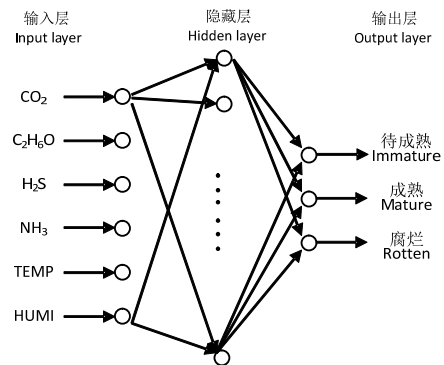


图 5 BP 神经网络结构

Figure 5 The BP neural network structure

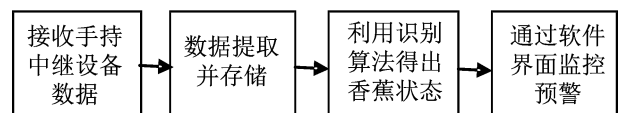


图 6 监控中心处理流程

Figure 6 Monitoring center processing flow chart

表 1 用户表

Table 1 User table

名称	字段名	类型	备注
Name	Field name	Type	Remarks
用户 ID	User ID	int	主键
帐号 Account	account	varcvhar	Not null
密码 Password	password	char	Not null

3.2 监控中心端软件设计

本设计中, 由于对硬件的数据处理运行效率以及系统的便捷性有较高要求, 所以软件采用 B/S 架构的模式来进行设计, 其中数据处理的环节运行在监控中心服务器上, 数据处理服务器是接收手持中

表 2 采集终端信息

Table 2 Acquisition terminal information table

名称 Name	字段名 Name	类型 Type	备注 Remarks
终端 ID Terminal ID	TId	int	主键
终端编号 Terminal number	number	varcvar	Not null
终端位置 Terminal position	position	char	Not null

表 3 警报信息

Table 3 Alarm information table

名称 Name	字段名 Name	类型 Type	备注 Remarks
ID	AIId	int	主键
终端 ID Terminal ID	TId	Int	外键
警报信息 Alarm information	Alarm Information	char	Not null
信息时间 Alarm Time	Alarm time	datetime	Not null

表 4 仓储环境信息

Table 4 Storage environment information table

名称 Name	字段名 Field name	类型 Type	备注 Remarks
ID	EId	int	主键
终端 ID Terminal ID	TId	int	外键
温度 Temperature	Temp	float	Not null
湿度 Humidity	Humi	float	Not null
CO ₂ 浓度 CO ₂ concentration	CO ₂	int	Not null
H ₂ S 浓度 H ₂ S concentration	H ₂ S	int	Not null
NH ₃ 浓度 NH ₃ concentration	NH ₃	int	Not null
C ₂ H ₆ O 浓度 C ₂ H ₆ O concentration	C ₂ H ₆ O	int	Not null

继设备传到数据监测中心的香蕉仓储环境参数, 实

时存储后通过训练完成的香蕉成熟度分类模型得出仓储香蕉成熟度状态, 当监测到香蕉成熟或者发生霉变时发出预警信息, 监控中心功能流程见图 6。

对软件系统主要功能模块进行设计, 包括相关数据库的设计, 数据表主要包括用户表(表 1)、采集终端信息表(表 2)、警报信息表(表 3)、仓储环境信息表(表 4)。

4 系统实现

4.1 系统硬件的实现

本设计中所使用的 MG-811、MG-136、MQ-137 和 MQ-3 感应探头输出信号均为模拟信号, 由于气传感器输出电压信号较弱, 所以输出电压信号在经过数据处理电路时由放大器构成的信号调理电路, 电压被调整到 0.5~4.5 V, 之后利用微处理器自带 AD 模块将模拟量转换为数字量, 为了保持数据采集终端采样速率的同时不给主控板增加负担, 设备采集采用 DMA 方式循环采集 AD 4 个通道数据, 选择 ADC1 的 0~3 通道采集 4 种气体感应探头的模拟信号, 其通道复用到主控芯片的 PA0-PA3 引脚; DHT11 温湿度传感器为数字传感器, 利用单总线的方式即可与主控板通信, 其 Data 引脚与主控板 PA4 相连接。无线射频通讯芯片通过与主控板自带 SPI 总线接口相连, 无线射频芯片 nRF24L01 要进行无线通信, 首先要对 MCU 的时钟, MCU 的 SPI 通信口和 nRF24L0 芯片进行初始化操作, 然后在发送时将有效数据放入 TX 缓冲区, 芯片将地址信息和 TX 缓冲区的有效数据与内部自行产生的数据头、标志位和 CRC 校验码等信息结合起来等待发送, 数据帧格式见表 5。

表 5 数据帧格式

Table 5 Data frame format

帧头 Frame head	DHT11	MQ-3	MQ-136	MQ-137	MG811	设备号 Device number	校验码 Check code	帧尾 Frame tail
0XE7	DATA2	DATA3	DATA4	DATA5	DATA6	DATA7	DATA15	0X7E

手持无线中继器通过主控板自带 SPI 总线接口与 nRF24L0 芯片相连, 通过配置 nRF24L0 芯片寄存器将模式改变为接收模式。当射频芯片接收到数据后通过 SIM900A 模块将数据发送至监控中心 SIM900A 与主控芯片之间的数据通信主要是通过端口 RXD 与 UART2_TXD, TXD 与 UART2_RXD 之间的数据传输来完成。其中 SIM900A 上的引脚 RXD 口是用于接收 STM32 主控板传来的数据, 最终数据通过模块的自带天线发送到上位机服务器,

引脚 TXD 口是用于向主控板发送数。在本设计中, 采用 GPRS 和 Internet 作为数据传输中介, GPRS 的基础是以 IP 包的形式进行数据的传输, GPRS 终端通过 PPP (Point to Point Protoc01) 协议获得动态分配符的 IP 地址, 建立连接后, 鉴于中继节点与服务器之间的数据传输量较小, 为了保证数据传输连续性, 在 PPP 协议的基础上通过 UDP 数据传输协议实现与远程数据服务器通讯, 实现手持中继设备与监控中心之间的数据传输。

4.2 模式识别算法的实现

训练 BP 神经网络, 首先需要样本数据, 通过所设计硬件模拟香蕉仓储环境采集样本数据, 对于样本数据的采集, 模拟香蕉仓储环境, 对每一种成熟度的香蕉仓储环境进行 3 个批次的的数据采集, 每一批次先在存储箱中放入一把香蕉并封箱 30 min, 对数据采集终端传感器进行 20 min 的预热, 之后将终端放入香蕉存储箱, 模拟环境如图 7 所示, 以 $10\text{ s}\cdot\text{次}^{-1}$ 的频率进行 24 h 的数据采集, 总共采集 10 万余条数据, 经过去除重复筛去无用数据每种成熟度的香蕉环境数据取 6 000 组, 一半作为训练样本, 另一半作为测试样本, 由于记录的数据较多, 本研究只选择不同成熟度状态环境参数区别较大的几组数据见表 6。



1. 模拟香蕉仓储箱; 2. 数据采集终端; 3. 手持中继节点
1. Simulated banana storage box; 2. Data acquisition terminal; 3. Handheld relay node

图 7 模拟香蕉仓储环境

Figure 7 Simulation of banana storage environment

表 6 样本数据表
Table 6 Sample data table

State	CO ₂	C ₂ H ₆ O	H ₂ S	NH ₃	TEMP	HUMI
Green	9	5	152	168	29	94
Green	8	5	152	179	29	94
Green	8	5	156	186	29	94
Green	9	5	159	190	29	94
Green	9	5	176	225	29	94
Yellow	9	7	171	235	27	95
Yellow	10	7	172	235	27	95
Yellow	9	7	172	236	27	95
Yellow	11	7	172	237	27	95
Yellow	12	7	183	236	27	95
Yellow	12	7	171	235	27	95
Black	12	11	267	304	30	73
Black	12	12	268	303	30	73
Black	12	12	269	303	30	73
Black	14	12	260	303	30	72
Black	14	12	261	304	30	72
Black	15	11	267	304	30	73

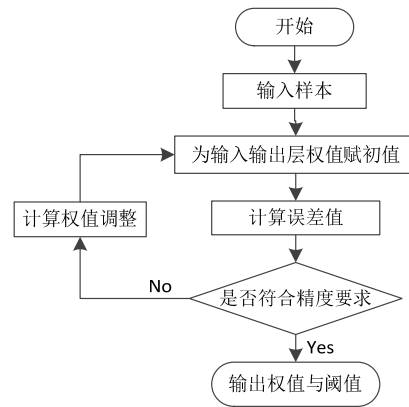


图 8 BP 网络算法流程

Figure 8 Flow chart of BP network algorithm

在本系统实验中, 把数据采集终端采集的香蕉仓储环境的 6 种参数作为 BP 网络的输入层, 将输出层定位为将香蕉在仓储过程中的 3 个阶段: 待成熟、成熟、腐烂。

神经网络算法流程见图 8, 本研究利用 Matlab 的 BP 神经网络工具箱对网络进行训练。设定目标为差为 0.1, 最大循环次数为 3 000。选取隐含层神经元的传递函数选 S 型正切函数 tansy, 输出层神经元的传递函数选 S 型对数函数 logsig, 选取 traingdx 函数为训练函数。在实现时使用 Newff 函数搭建神经网络模型、使用 Train 函数对 BP 神经网络进行训练、使用 Sim 函数对 BP 神经网络进行仿真输出。实验结果表明当隐含层节点为 8 时, 神经网络训练结果如图 9 所示, 从图中可以看出, 随着训练次数的增加训练误差逐渐降低, 在训练次数达到 2 500 次时, 训练误差达到 0.5, 训练效果较好。

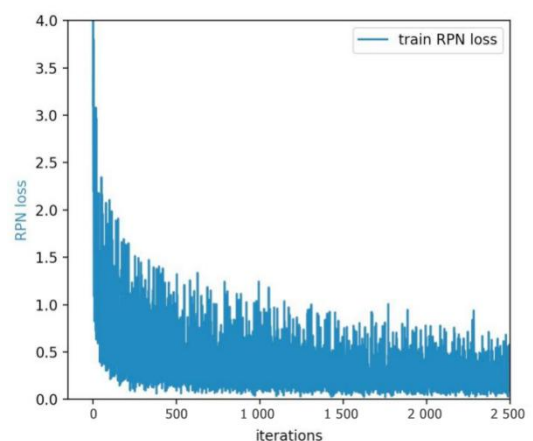


图 9 BP 网络训练结果

Figure 9 BP network training results

4.3 监控中心软件的实现

本系统中, 由于对硬件的数据处理运行效率以

及系统的便捷性有较高要求,所以软件采用 B/S 架构的模式来进行设计,其中数据处理的环节运行在云服务器上。其主要目的是接收手持设备通过 GPRS 网络传到数据监测中心的香蕉仓储环境参数,并实时存储分析采集的数据得出仓储香蕉成熟度状态。本系统在服务器端使用 Python 和 Django 框架进行智能监控系统的构架开发,浏览器客户端使用 HTML5 和 jQuery 框架实现监测系统的可视化动态显示,主要负责将香蕉仓储环境数据和香蕉成熟度状态可视化显示,让已经成熟和发生腐烂现象的香蕉存储箱在界面中有一个直观的预警提示。



图 10 测试平台与实验环境
Figure 10 Test platform and experimental environment

6 结论

本研究设计了一套针对仓储香蕉霉变的智能监测与预警系统,通过在香蕉存储仓库以及仓储箱内部部署数据采集终端,利用手持无线中继器接收数据采集终端采集的数据并通过 GPRS 网络传输至监控中心数据服务器,在服务器中智能处理和分析数据,之后将仓库环境参数曲线以及香蕉当前状态显示在软件界面,当香蕉即将腐烂时发出警报。智能监测与预警系统解决了传统人工巡检效率较低,成本较高的问题,对降低香蕉因过度存放造成的损失有着重要意义。

后熟性的水果种类较多,由于实验条件有限,仅对香蕉的成熟度进行了监测实验,对于其他后熟性水果如:猕猴桃、柿子等,根据其相对应的仓储环境参数构建专用监测系统,将可实现其成熟度的自动监测,在水果仓储和流通领域具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 张慧坚. 2015 年香蕉产业发展报告及形势预测[J]. 世界

5 系统测试与结果分析

图 10 显示了所设计的 3 种香蕉成熟度状态下的测试平台和实验环境。每种状态分别进行 20 批次的测试,每批次封箱 90 min 后查看系统监测状态,结果表明本仓储香蕉成熟度智能检测与预警系统识别出的香蕉成熟度状态与人工分类结果相同,识别率达到了 100%,可以正确识别出仓储香蕉的不同成熟度,并可以在香蕉已成熟或者发生腐烂情况下通过系统发出警报。

热带农业信息, 2016(8): 31-37.

- [2] MANZOLI A, STEFFENS C, PASCHOALIN R T, et al. Low-cost gas sensors produced by the graphite line-patterning technique applied to monitoring banana ripeness[J]. *Sensors*, 2011, 11(6): 6425-6434.
- [3] 袁佩佩. 西瓜成熟度无损检测的极限学习模型及应用研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2017.
- [4] 王顺. 水果成熟度检测的机器视觉和嗅觉可视化技术研究[D]. 江苏大学, 2018.
- [5] 毛建华. 西瓜成熟度和内部空心的声学检测技术及装置研究[D]. 杭州:浙江大学, 2017.
- [6] XU X M, CANG H W, LI C Z, et al. Quartz crystal microbalance sensor array for the detection of volatile organic compounds[J]. *Talanta*, 2009, 78(3):711-716.
- [7] NAYELI V R, JOSE B, JORGE C P, et al. Computer vision system applied to classification of "Manila" mangoes during ripening process[J]. *Food Bioprocess Tech*, 2014, 7(4):1183-1194.
- [8] 侯俊才. QCM 气敏传感器研发与香蕉成熟度检测方法研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.
- [9] 杨江, 李治. 基于神经网络的多传感器系统误差校正方法[J]. *传感器与微系统*, 2002, 21(4):37-39.
- [10] 张振平. 无线传感器网络气体检测节点的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2010.