

果蔬红外干燥在线实时检测系统设计*

王相友 林喜娜 刘 强

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

【摘要】 设计了一个果蔬红外干燥在线实时数据检测系统。采用质量传感器、AD 温度传感器、PCI8310 数据采集卡等将干燥设备中的果蔬样本信息储存到 PC 中,借助于 VB 程序进行数据处理,实现数据可视化,且生成了干燥曲线、辐射温度变化曲线及物料温度变化曲线。系统测试试验结果表明:该检测系统在线检测误差在 $\pm 0.03\%$ 范围内,能够准确、实时反映果蔬红外辐射干燥过程特性。

关键词: 果蔬 红外干燥 实时检测 温度采集 设计

中图分类号: TQ028.6⁺76; TP206⁺.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)03-0136-04

Design of Online Measurement System of Infrared Radiation Drying for Fruits and Vegetables

Wang Xiangyou Lin Xi'na Liu Qiang

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract

A fruit and vegetable infrared drying online real-time detecting system was designed. Using the quality sensor, the AD temperature sensor, the PCI8310 data acquisition card and so on, the data of fruits and vegetables in the drying equipment were stored in PC. These data were processed and visualized by the program written by the Visual Basic, and then, drying curves, radiation temperature variation curves and material temperature variation curves were generated. The detecting experiment results showed that the online detection error was within $\pm 0.03\%$ and the characteristics were displayed accurately and timely.

Key words Fruits and vegetables, Infrared drying, Online detecting, Temperature acquisition, Design

引言

近年来,果蔬红外线干燥研究和应用得到了较快发展^[1~4]。在干燥过程中,果蔬含水率及干燥温度的实时测量对于其实际进程、工艺过程的优化控制及干燥品质等都十分重要,但目前国内果蔬红外辐射干燥设备物料含水率及温度在线测量系统还不完善,设备存在干燥耗能大、成本高、产品品质不稳定等缺陷^[5~6]。为此,本文设计一个果蔬红外干燥在线实时数据检测系统。

1 检测系统的设计方案

该检测系统由质量采集模块、温度采集模块、数据采集、数据处理、在线图像实时显示等 5 部分组成。如图 1 所示。

1.1 质量采集模块的设计

考虑料盘和样品物料的质量以及在试验过程中不可避免的冲击、振动、偏载等因素,采集模块设计量程为 1 kg。传感器的弹性体采用双连孔悬臂梁式结构,采用差动电桥连接传感器,弹性体固定在铁板上并将铁板固定在干燥箱外的底部,铁板上有可用

收稿日期: 2010-11-29 修回日期: 2011-01-05

* 山东省科技攻关计划资助项目(2008GG10009008)

作者简介: 王相友,教授,博士生导师,主要从事农产品加工与贮藏研究, E-mail: wxy@sdut.edu.cn

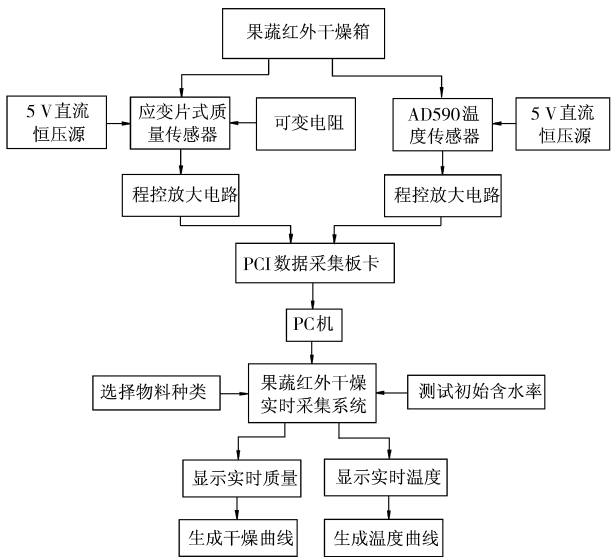


图 1 数据采集系统原理图

Fig. 1 Frame design of data acquisition system

于水平调整的螺母。料盘在干燥箱内,通过一根刚

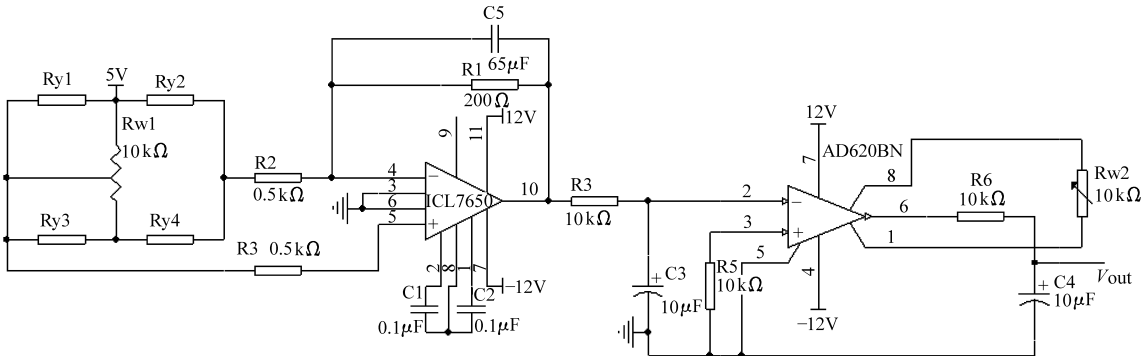


图 2 质量采集电路图

Fig. 2 Circuit schematic of quality acquisition

1.2 温度采集模块的设计

果蔬红外干燥实验台的干燥箱工作时,干燥温度保持在 60°C ,石英加热管附近的温度在 130°C 左右,在校准时,为了保证温度的恒定,采用冰水混合物,这就要求温度传感器的测量范围为 $0 \sim 130^{\circ}\text{C}$ [7]。本文采用美国模拟器件公司生产的 AD590 型温度传感器。根据 AD590 的特性,选用精密差分放大器 AD620,设计电路如图 3 所示。

在校准电路时,由于 AD590 传感器在 0°C 时,流过该传感器的电流为 $273.2 \mu\text{A}$,在 100°C 时流过该传感器的电流为 $373.2 \mu\text{A}$,且其流过的电流与温度呈线性变化的关系,因此将 AD590 放到冰水混合物中,此时流过 R_{w1} 、 R_2 电阻的电流为 $273.2 \mu\text{A}$,调节 R_{w1} ,当 R_{w1} 和 R_2 的串联阻值为 1000Ω 时,由欧姆定律可知,与 AD590 串联的两个电阻两端就会输出 273.2 mV 电压信号。完成之后,再将温度传感器连同温度表一起置于沸水中,再对 AD590 的性能进行校准。根据相关文献可知 AD620 的放大倍数 $A =$

性导杆连到传感器弹性体上,由于杆较长,传热很慢,且传感器弹性体处于干燥箱外,在试验过程中,传感器弹性体的温度基本上不发生变化,故可以不考虑温度对质量传感器感应部分造成的非线性误差。

根据质量传感器特性,选择斩波稳零式高精度运算放大器 ICL7650 和精密差分放大器 AD620。质量采集模块的程控放大电路如图 2 所示。其中 R_{y1} 、 R_{y2} 、 R_{y3} 、 R_{y4} 为传感器弹性体上的应变电阻。在电路焊接完毕,调节 R_{w1} ,调整 AD620 的放大倍数来改变质量采集系统的量程。由于数据采集板卡的量程为 10 V ,因此,通过调整 R_{w2} 的大小使质量采集系统的电路输出接近 10 V ,以获得较高的测量精度。在调好 R_{w1} 、 R_{w2} 之后,用石蜡将其封住,以免阻值发生变化。由于一级放大器的增益很大,很容易引起噪声,需要加上二阶低通有源滤波器,去除高频噪声的干扰。

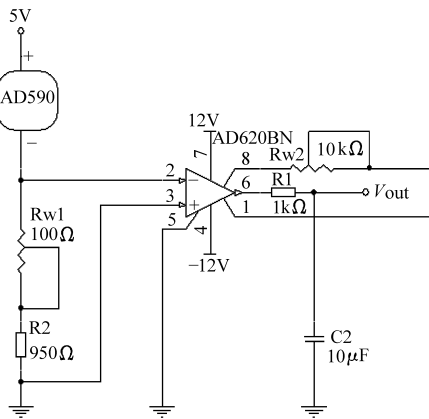


图 3 温度采集电路原理图

Fig. 3 Circuit schematic of temperature acquisition

$49.4 / R_{w2} + 1$,其中 R_{w2} 为 R_{w2} 的阻值,调节 R_{w2} 的阻值使放大倍数为 $10^{[8]}$ 。

2 质量与温度输出校正

2.1 称量传感器输出电压与质量的关系

试验中采用的质量传感器、温度传感器在输出

电压与质量、温度之间都呈线性相关,所以能很容易的找出其一次函数关系式。

首先确立质量测量系统的函数关系。在温度恒定(14℃)、常压的状态下,在天平上每次增加 50 g 的重物,等待 60 s,程序自动存储 360 个数据,从 0 到 400 共记录 9 组不同的数据,每次除去含有冲击影响的数据,将剩余的取平均值作为该质量的相应电压,重复测定正、反 3 个行程,最后得到的线性关系(图 4)为

$$y_1 = 3.933x_1 + 2\,810 \quad (R_1^2 = 0.99) \quad (1)$$

式中 x_1 ——物料质量,g
 y_1 ——输出电压,mV

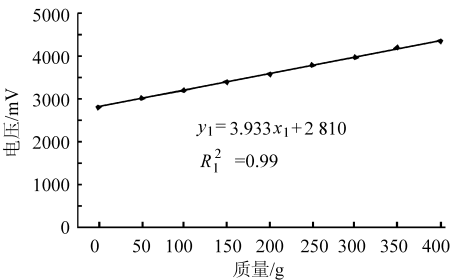


图 4 质量与输出电压的线性关系
Fig. 4 Linear relationship diagram between quality and output voltage

2.2 温度传感器输出电压与温度的关系

由于物料温度和辐射温度的采集模块相同,只需确定任一模块温度与电压之间的关系,因此,将温度从 0℃ 升至 110℃,每 10℃ 记录一个电压相应值,重复测定正、反 3 个行程,得到函数关系(图 5)为

$$y_1 = 10.03x_2 + 2\,641 \quad (R_2^2 = 0.99) \quad (2)$$

式中 x_2 ——温度,℃

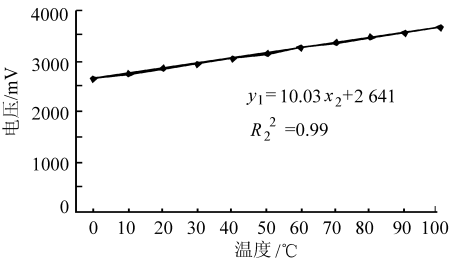


图 5 温度与输出电压的线性关系
Fig. 5 Linear relationship diagram between temperature and output voltage

将质量、温度与电压的关系式中的 k 值和 b 值分别填入程序中的手动调节对话框中,如图 6 所示,完成对数据采集处理程序中的函数系数初始化。

3 在线实时检测系统的程序设计

Visual Basic 6.0 (VB) 是一种易用的可视化编程语言^[9~10]。本文采用了 VB 6.0 编写果蔬红外干燥实时采集程序,程序的流程图如图 7 所示,其程序



图 6 检测系统的初始化界面
Fig. 6 Initialization interface in detection system

界面如图 8 所示,采用 PCI8310 数据采集卡将采集的数据传送到 PC 中,并使用 Access 数据库存储^[11]。此外,由于数据采集时存在干扰,容易产生采样误差,在此采用数字滤波的方法予以消除。

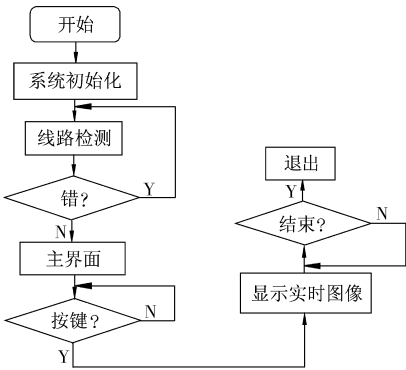


图 7 实时检测程序流程图
Fig. 7 Chart of real-time detection program

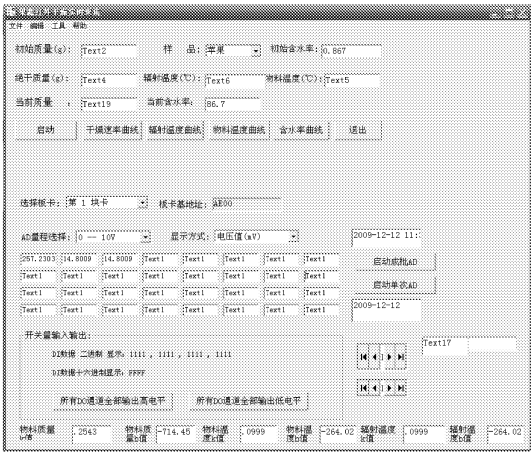


图 8 果蔬红外干燥实时采集系统的主界面
Fig. 8 Main interface in infrared drying fruits and vegetables real-time acquisition system

4 测试验证

设置干燥箱内的加热温度为 60℃,加热管的辐射功率为 750 W,辐射距离为 100 mm,物料质量为 150 g,对物料厚度为 5 mm 的苹果切片进行红外干燥试验并启动实时检测系统,试验完毕时生成含水

率变化曲线、物料温度变化曲线和辐射温度变化曲线，试验结果对比曲线如图 9 所示，可见测量精度较高。

为了进一步验证该技术装置对不同试验条件的适应性及检测精度，采用苹果切片作为试验样本进行红外干燥测试试验。测试结果如表 1 所示。通过

在线实时测量出的苹果切片含水率与真实含水率比较可知：在设定的试验测定范围内，检测到的苹果切片含水率与标准值间的最大偏差在 $\pm 0.04\%$ 以内，最大极差为 0.05% 。检测到的苹果切片平均含水率值可以达到 $\pm 0.03\%$ 的测试精度要求。

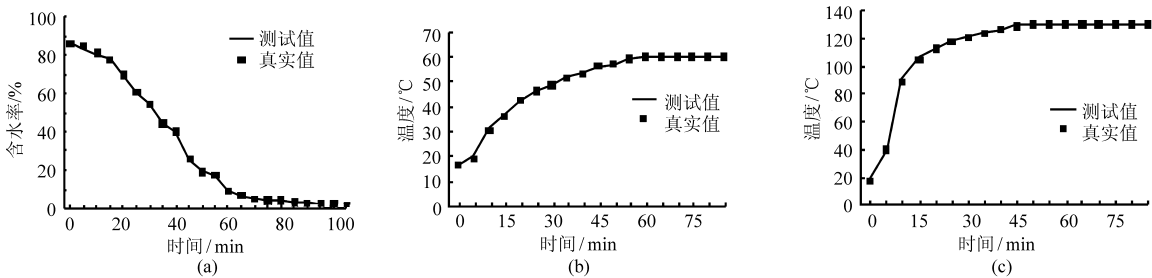


图 9 试验结果曲线

Fig.9 Curves of experiment results

(a) 含水率 (b) 物料温度 (c) 辐射温度

表 1 苹果含水率在线检测试验条件及测试结果分析

Tab.1 Analysis of experimental conditions and results in the apple moisture content online detection															
试验号	辐射功率 <i>P</i> /W	辐射距离 <i>d</i> /mm	加热温度 <i>T</i> /℃	物料厚度 <i>h</i> /mm	含水率/%										极差 /%
					10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		
					真实值	测试值	真实值	测试值	真实值	测试值	真实值	测试值	真实值	测试值	
1	750	100	50	2.5	77.09	77.08	65.93	65.89	54.81	54.80	42.76	42.74	32.08	32.05	0.05
2	750	150	60	5.0	74.95	74.97	63.35	63.36	52.51	52.50	42.11	42.10	32.46	32.44	0.04
3	750	200	70	7.5	82.24	82.25	73.89	73.88	64.62	64.60	56.37	56.38	47.83	47.84	0.03
4	1 000	100	60	7.5	79.08	79.07	70.85	70.84	62.98	62.99	55.48	55.50	48.77	48.79	0.03
5	1 000	150	70	2.5	78.30	78.28	65.83	65.82	52.50	52.49	40.39	40.38	29.15	29.14	0.03
6	1 000	200	50	5.0	77.79	77.80	64.59	64.58	52.74	52.72	41.70	41.69	33.11	33.12	0.03
7	1 500	100	70	5.0	71.45	71.46	56.54	56.55	44.46	44.47	34.57	34.58	25.76	25.77	0.01
8	1 500	150	50	7.5	77.09	77.10	65.93	65.94	54.81	54.80	42.76	42.78	32.08	32.09	0.03
9	1 500	200	60	2.5	78.26	78.28	70.80	70.82	63.28	63.28	53.70	53.70	44.88	44.89	0.03

注：表中的温度为测试过程中恒温、恒湿装置的设定值；含水率为相应温度条件下，实际测量出的苹果切片实时含水率的平均值；试样含水率依照 GB/T 8858—1988《水果、蔬菜产品中干物质和水分含量的测定方法》检测。

5 结束语

系统能够成功地实现测量数据可视化，生成含水率、辐射温度和物料温度变化曲线，其检测误差在

$\pm 0.03\%$ 范围内，能够直观准确地反映苹果切片的红外干燥特性，为苹果切片红外辐射干燥过程的实际进程和过程优化控制提供了测试手段，也为保证产品质量和降低能耗提供了有效途径。

参 考 文 献

1 王相友,操瑞兵,孙传祝. 红外加热技术在农业物料加工中的应用[J]. 农业机械学报,2007,38(7):177~182.
Wang Xiangyou, Cao Ruibing, Sun Chuazhu. Application of infrared radiation technology on processing agriculture biological materials[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery , 2007,38(7):177~182. (in Chinese)

2 糜正瑜,褚治德. 红外辐射加热干燥原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,1996.

3 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,1998.

4 王相友,林喜娜. 果蔬红外辐射干燥动力学的影响因素综述[J]. 农业机械学报,2009,40(10):114~120.
Wang Xiangyou, Lin Xi' na. Influence factors of kinetics of infrared radiation drying for fruits and vegetables [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(10):114~120. (in Chinese)

化成光合作用所需的能量,水分的利用与植物光能的转化呈正相关关系,随着水分利用的增多,转化成光合作用所需要的能量也越多,因此在能量一定的情况下,PSI 反应所放出的能量下降,导致 F734 荧光强度随着叶片水分利用效率的上升而下降。

在实验中选择含水率为 68% ~ 72% 的叶片,即能满足叶片正常的生理需求。而植物体从外界所获得的能量是一定的,获得的能量被光合作用、热辐射和叶绿素荧光竞争分配^[8],光合作用可以用光合速率来表征,在叶片中热能的散失可以用叶片温度来表征,而在能量一定的情况下,光合作用和热辐射所需要的能量增加,必然会导致叶绿素荧光的降低,体

现在荧光光谱上,导致光谱强度的下降。所以,从能量传递的角度上考虑该模型的研究是合理且可信的。

3 结束语

本文从植物无损检测的角度出发,以 473 nm 激光激发活体叶片荧光光谱为手段,建立了在叶片温度修正下的叶片水分利用效率与叶绿素荧光光谱数学回归模型,复相关系数 $R^2 = 0.975$,回归效果极显著。并对得到的模型进行效果检验,得到相关系数 $r = 0.8746$ 。该模型可以较为有效地反映叶片水分利用效率与叶绿素荧光光谱强度之间的关系,为植物的无损检测提供参考依据。

参 考 文 献

- 1 Oweis Theib, Ahmed Hachum, Mustafa Pala. Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a mediterranean environment[J]. Agricultural Water Management, 2004, 66(2):163 ~ 179.
- 2 Kramer P J, Kozlowski T T. Physiology of woody plants [M]. London: Academic Press, 1979: 443 ~ 444.
- 3 李荣生, 许煌灿, 尹光天, 等. 植物水分利用效率的研究进展 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(3):366 ~ 371.
Li Rongsheng, Xu Huangcan, Yin Guangtian, et al. Advances in the water use efficiency of plant [J]. Forest Research, 2003, 16(3):366 ~ 371. (in Chinese)
- 4 于晓芳, 高聚林, 宋国栋, 等. 玉米叶片水分利用效率与叶绿素 a 荧光参数的关系[J]. 玉米科学, 2009, 17(4): 55 ~ 57,60.
Yu Xiaofang, Gao Julin, Song Guodong, et al. The relevant between the leaves WUE of maize inbred lines and the kinetic parameter of fluorescence in chlorophyll a [J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(4):55 ~ 57, 60. (in Chinese)
- 5 杨昊谕, 于海业, 张蕾, 等. 基于激光诱导荧光光谱分析的黄瓜叶片叶绿素含量检测 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(10):169 ~ 172.
Yang Haoyu, Yu Haiye, Zhang Lei, et al. Detecting of chlorophyll content of cucumber leaves based on laser-induced fluorescence spectrum analysis technique [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10):169 ~ 172. (in Chinese)
- 6 Tong Xiaojuan, Jun Li, Yu Qiang, et al. Ecosystem water use efficiency in an irrigated cropland in the North China Plain [J]. Journal of Hydrology, 2009, 374(3 ~ 4):329 ~ 337.
- 7 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- 8 Zhang Yongjiang, Liu Liangyun, Hou Mingyu, et al. Progress in remote sensing of vegetation chlorophyll fluorescence[J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(5): 963 ~ 970.

(上接第 139 页)

- 5 王冠. 桑枝屑含水率快速检测方法 & 检测设备的研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.
Wang Guan. The research on the rapid detection methods and equipments for the moisture content of mulberry sawdust[D]. Nanjing:Nanjing Forest University, 2007. (in Chinese)
- 6 李长友. 稻谷干燥含水率在线检测装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(3):56 ~ 59.
Li Changyou. Design and experiment of on-line moisture content metering device for paddy drying process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(3):56 ~ 59. (in Chinese)
- 7 于彤. 传感器原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- 8 邓海龙. 传感器与检测技术[M]. 北京:中国纺织出版社,2008.
- 9 新智工作室. VB6. 0 中文版教程[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- 10 李勇平. 中文 Visual Basic 6.0 案例教程[M]. 北京:希望电子出版社,2001.
- 11 杨继萍,郝军启. Access 2003 数据库原理与应用标准教程[M]. 北京:清华大学出版社,2006.