

基于 AVR 单片机的害虫耐热性试验装置设计^{*}

郭文川 杨沉陈 赵志翔 李群卓 王绍金

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 掌握农产品目标害虫的耐热性对于确定热处理杀虫方法中热处理温度和时间非常重要,为此设计了一套加热杀虫过程中控制加热速度和加热温度的试验装置。以 AVR Atmega16 单片机为控制器, Pt100 为温度传感器, 采用脉宽调制原理设计了害虫耐热性试验装置的温度检测和控制电路; 利用单片机 C 语言设计了下位机控制程序, 利用 VB 语言设计了上位机监控软件(包含数据输出功能)。系统测试结果表明, 10 ~ 70℃ 范围内的温度检测精度为 0.2℃, 温度控制精度为 0.1℃, 加热速度可在 0 ~ 15℃/min 范围内任意设定。

关键词: 害虫 耐热性 试验装置

中图分类号: S24; S433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)06-0183-05

Testing Equipment Design of Thermal Resistant Characteristics for Pests Based on AVR Single-chip Microcomputer

Guo Wenchuan Yang Chenchen Zhao Zhixiang Li Qunzhuo Wang Shaojin

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

The thermal resistant characteristics of pests in agricultural products are important to determine the lethal temperature and time for thermal disinfestation methods. Therefore, a set of research system was designed and built to obtain the given heating rate and temperature required by thermal controls of pests. The temperature detection and control circuits were mainly developed by using AVR Atmega16 single chip microcomputer (SCM) as controller, Pt100 as temperature sensor, and pulse width modulation as temperature control method. The C language and VB software were used to control SCM procedure and personal computer monitoring/data acquisition, respectively. The running results showed that the temperature measurement and control accuracy was 0.2℃ and 0.1℃ for heating up to 10 ~ 70℃. The heating rate could be achieved over the range of 0 ~ 15℃/min.

Key words Pest, Thermal resistant characteristic, Testing equipment

引言

近年来,随着经济全球化发展,各国之间贸易交流越发频繁。各种昆虫,特别是生命力比较顽强的害虫,也随着各国之间的农产品贸易从一个国家传播到另一个国家。为了提升我国农产品在国际贸易中的竞争力,在生产过程中就必须对农产品进行严

格的灭菌杀虫处理,以满足国外对进口产品的要求^[1-2]。

常用的农产品灭菌杀虫方法有化学和物理处理 2 种形式。化学处理方法中较为常用的是熏蒸杀虫法;物理处理方法中常用的有热处理、辐射处理和气调冷藏处理等方法^[3]。化学处理方法虽然杀虫效果好,但会给环境造成污染,而且经过熏蒸后的产品

收稿日期: 2011-09-21 修回日期: 2011-10-28

^{*} 国家自然科学基金资助项目(31171720)、中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(QN2009043)和杨凌现代农业国际研究院科研培育资助项目

作者简介: 郭文川,教授,博士,主要从事农产品和食品品质检测技术研究, E-mail: guowenchuan69@126.com

可能带有残余的杀虫剂^[4~6]。而物理杀虫法通常具有无毒、无害、适用范围广和没有化学污染等优点,故其应用较广。在物理灭虫法中,热处理杀虫与其他方法相比,具有对产品品质影响小、无辐射和便于操作等优点,因而逐渐受到重视。在进行热处理杀虫时,既要能快速有效地灭杀产品中的害虫,同时又要尽可能地减小热处理对农产品品质的影响。为此,就需要掌握害虫的耐热性,即在达到害虫 100% 的热致死率时所需的温度和时间。Ikediala 等在 2000 年设计了一套害虫耐热性研究系统,Wang 等对此系统改进后完成了多种害虫耐热性的测定^[7~9]。国内在害虫耐热性研究系统开发方面尚未见报道。为了给害虫耐热性的研究提供软硬件条件,设计一套害虫耐热性试验装置,通过控制系统的温度和加热时间达到改变害虫所处环境的目的,从而了解害虫的耐热性。

1 害虫耐热性试验装置设计

由于害虫对不同的加热速度和控制温度有不同的响应,所以设计的耐热性试验装置应具有可变的加热速度和控制温度。通常将温度控制过程分为 2 个阶段,如图 1 所示。由于室温的变化和重复试验时冷却后的温度可能不同,需对其进行预热处理,使得每次试验时加热板的温度均匀分布。因此第 1 阶段为预热阶段,预热温度和预热时间应根据实际情况自由设定。第 2 阶段为升温、保温阶段。由于各种害虫的耐热性各不相同,所以本阶段热处理过程中的加热速度和保温温度也应能够自由设定。根据设定的加热速度、保温温度和加热时间,可计算出灭杀害虫所需的功耗,改变加热速度和保温温度则可得不同的功耗。据此可知不同功耗下害虫的耐热性,为热处理杀虫过程中选取合适的加热速度、保温温度和加热时间提供理论依据。

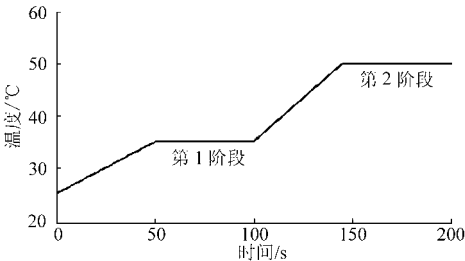


图 1 两阶段温度控制曲线
Fig. 1 Two-stage temperature control curve

1.1 加热装置

加热装置主要由上铝板、下铝板、密封片、加热片(125 V、250 W)、保温材料、温度传感器(Pt100)和外壳等部分组成(图 2)。当上、下两铝板合拢后,

中间形成 95 mm × 95 mm × 5 mm 的密闭空间,用以放置试验对象——害虫。为了防止热量散失对保温效果的影响,选用厚度为 5 mm 的复合铝箔作为保温材料,将其贴于两板的外表面形成保温层,使得温度控制更加简便。

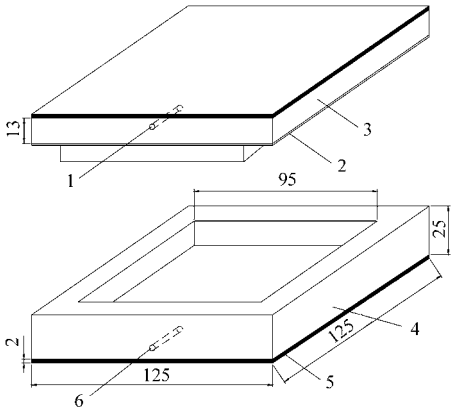


图 2 加热板系统结构图
Fig. 2 Structure of heating plate system

1、6. 温度传感器 2. 垫片 3. 上铝板 4. 下铝板 5. 加热片

1.2 硬件电路设计

温度控制系统由加热装置、温度检测电路、A/D 转换器、Atmega16 单片机、计算机和温度控制模块等部分组成,其结构框图如图 3 所示。

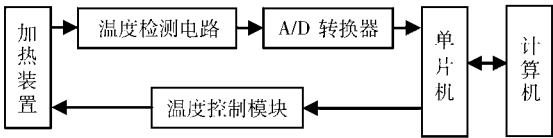


图 3 温度控制系统结构框图
Fig. 3 Block diagram of temperature control system

加热装置中的温度传感器将感应到的温度信号转换成电阻,检测电路先将电阻变换为电压信号,经运算放大器放大,输入给 12 位 A/D 转换器,然后转换为数字信号输入单片机。单片机对所得信号进行处理并通过串口传给上位机——计算机;上位机通过温度监控软件输出当前温度以及温度变化曲线,同时上位机监控软件调用控制算法以计算按照预先设定的加热速度和控制温度运行时获得的控制量输出,且通过串口输入到单片机。然后,单片机向温度控制模块输出脉冲宽度调制(PWM)控制信号,最终通过控制加热装置中加热片通、断电时间实现加热速度和温度的精确控制。

(1) 单片机

选用 Atmel 公司生产的 8 位 AVR 单片机 Atmega16 作为控制器,其内部具有 16 kB 的 Flash 存储器,1 kB 的 RAM,32 个 I/O 口,4 个 PWM 控制通道,以及 1 个全双工运行的串口。本设计中单片机主要实现温度信号的采集和向温度控制模块输出

PWM 控制信号,并与计算机进行串行通信。

(2) 温度检测电路

由于铂电阻温度传感器具有精度高、稳定性好、可靠性高和寿命长等优点,选用 Pt100 铂电阻 (A 级)作为温度传感器。Pt100 铂电阻温度传感器的电阻 R_t 和温度 T 之间关系为^[10]

$$R_t = 100(1 + aT + bT^2) \quad (t > 0) \quad (1)$$

其中 $a = 3.908\,02 \times 10^{-3}$ $b = -5.802 \times 10^{-7}$

由 Pt100 构成其中一路的温度检测电路如图 4 所示,传感器 Pt100 与其余 3 个电阻形成单臂电桥测量电路。为了增加放大器的共模输入电压,在电桥与地之间装有 2.4 kΩ 的电阻。电桥上的输出电压经放大器 INA114 放大至 0 ~ 5 V 的电压信号,并通过 12 位 A/D 转换器 TLC2543 实现电压信号的模数转换,最后通过 SDO、SDI、CS 和 CLK 等接口与单片机建立通信,并将转换结果输入到单片机中。其中,电桥的 5 V 电源和 A/D 转换器的基准电源选用 TI 公司的高精度基准电压源 REF5050,该电压源的精度高达 0.1%,温度漂移为 8×10^{-6} V/℃,最大限度地保证了温度测量精度和电路的稳定性。

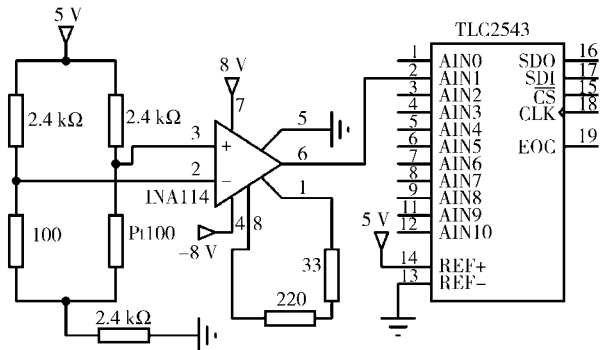


图 4 温度检测电路
Fig. 4 Temperature detection circuit

(3) 温度控制电路

为达到更好的加热效果,应使密闭空间的温度形成均匀分布,所以对上、下板进行单独的温度控制,控制方法为 PWM,单个加热板控制电路如图 5 所示。单片机输出的 PWM 控制信号与图中的输入

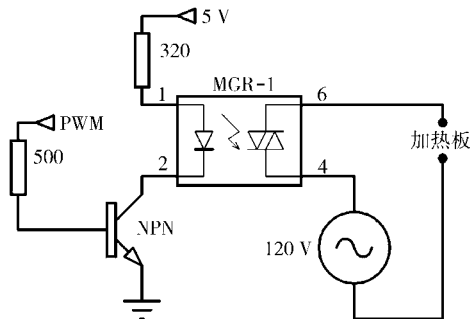


图 5 温度控制电路
Fig. 5 Temperature control circuit

控制端相接,通过控制三极管集电极通、断实现对固态继电器 (MGR - 1) 输入端的控制,进而控制固态继电器输出端,实现对加热片供电的通、断控制,最终实现温度控制。

1.3 软件设计

系统软件设计分为下位机程序设计和上位机软件设计 2 部分。下位机程序在单片机上运行,主要实现数据传输和输出 PWM 控制脉冲;上位机软件在计算机上运行,主要实现温度的检测和控制。

1.3.1 下位机程序设计

利用单片机 C 语言编写下位机程序,开发平台为 CVAVR,主要包括:

(1) 系统主程序。主要完成端口、定时器和波特率的初始化,同时调用子程序完成相应操作。

(2) 温度采集子程序。单片机通过向 A/D 转换器控制端口输出时序信号读取当前转换结果,然后将其转换成十进制数。

(3) 串行通信子程序。将所得的十进制数上传至上位机,同时接收上位机传输的 PWM 控制信号。

(4) PWM 控制子程序。通过接收的上位机 PWM 控制信号改变单片机定时器寄存器 OC1A 和 OC1B 的存储值,进而改变输出脉冲宽度,输出 PWM 控制信号,经由温度控制电路进行温度控制。

1.3.2 上位机软件设计

上位机软件利用 VB 6.0 语言编写,主要由串行通信子程序、数据处理子程序、人机交互界面、加热速度控制子程序、保温温度控制子程序和数据输出子程序等部分组成。上位机软件的核心部分在于实现温度的准确检测与对加热速度和保温温度的精确控制。为保证系统温度测量精度,串口在 Pt100 的响应时间内采集 20 组温度数据,然后用软件对其进行滤波(按大小顺序排序后选取中间段的数值再求平均值),以此去除误差较大数据。在系统温度分辨率控制方面,由串口接收数据推得与之相应的电阻 R_t ,再按式(1)通过牛顿迭代法求出此时的温度 T ,通过改变牛顿迭代法中的收敛条件,可改变系统的检测精度。本文选取收敛条件为 0.01,可使系统检测温度分辨率达到 0.01℃。为实现对加热速度的精确控制,引入自适应加热速度控制方法,其流程图如图 6 所示。通过提取当前相近的 10 个点的温度(温度间隔为 1 s),推算出当前的加热速度。将此速度和设定速度相比较,输出相应控制量,进而改变原脉宽,实现加热速度的自动调节。由于加热装置中加热板降温较慢,为保证调节时间最小,需减小最大超调量,为此引入带死区的温度控制。在保温温度控制方面,运用 PID 算法进行温度控制,并通过临

界比例带法整定参数^[11]。

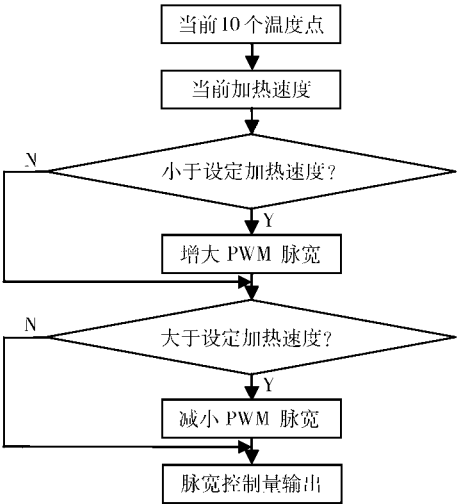


图 6 自适应加热速度控制流程图
Fig. 6 Flow chart of heating rate control

2 温度传感器校正

温度在测量过程中存在误差(包括 Pt100 温度传感器、测量电路和电阻—温度转换过程等部分)。为满足测量精度要求,需对温度传感器进行校正。校正温度计选用精度为 0.1℃ 的玻璃温度计,校正范围为 10~70℃,选取校正范围内每隔 10℃ 的温度点作为校正点。校正前和校正后的温度测量数据如表 1 所示。从表中可知,校正前下板温度传感器 A 和上板温度传感器 B 在校正范围产生的平均误差分别为 0.03℃ 和 0.2℃,所以校正时传感器 A 可不作调整,而传感器 B 则需在原来的基础上减去 0.2℃,由校正后测量结果可知,两传感器的实测值和校正点接近,误差在 0.2℃ 以内。

表 1 温度传感器校正前、后的测量值与误差

Tab.1 Measured values and errors of temperature sensors before and after the calibration ℃								
校正点	校正前测量值				校正后测量值			
	A	B	A 误差	B 误差	A	B	A 误差	B 误差
10	10.1	10.2	0.1	0.2	10.1	10.0	0.1	0
20	20.1	20.2	0.1	0.2	20.1	20.1	0.1	0.1
30	30.0	30.2	0	0.2	30.0	30.0	0	0
40	40.0	40.2	0	0.2	40.0	40.0	0	0
50	50.0	50.2	0	0.2	50.0	50.0	0	0
60	60.0	60.2	0	0.2	60.1	60.0	0.1	0
70	70.0	70.2	0	0.2	70.0	70.0	0	0

3 温度控制曲线分析

通过试验对本装置的设计效果进行了测试和验证。本次试验设定的预热温度为 30℃,预热时长为

2 min,加热速度为 10℃/min,控制温度为 50℃,保温时长为 5 min。

实际温度控制曲线如图 7 所示。温度采集点时间间隔为 5 s。由控制曲线可知,温度加热起点为 30℃,这与设定的预热温度相一致。由于温度加热具有一定的滞后性,因此加热速度计算时段的选取应作相应调整(调整为开始加热后第 10 s 至刚进入带死区温度控制的时段)。然后将该时段的温度数据导出并进行最小二乘法拟合,得出上、下板加热区段温度拟合曲线斜率分别为 9.97℃/min 和 10.06℃/min,与设定加热速度 10℃/min 相比,误差在 0.3℃/min 以内。在最大超调量控制方面,从拐角处的曲线变化可以看出,基本上不存在超调,实际测量最大超调量在 0.1℃ 以内。

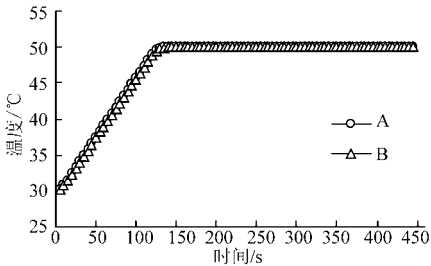


图 7 上、下板的温度控制曲线
Fig. 7 Temperature control curves of the bottom and top plates

上、下板保温阶段温度分布如图 8 所示(温度采集点时间间隔为 5 s),由图可知,在保温时段内上、下板测量温度在设定的保温温度附近波动(本试验为 50℃),且整体的波动范围大体在 49.95~50.05℃ 之间,实现了保温温度的精确控制。同时对上、下板温度分布曲线可知,上板较下板波动更小,这是由于上板的散热面积更小,从而减少了与外界环境的热交换所致。

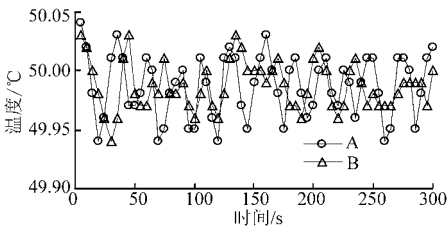


图 8 上、下板保温时段温度分布曲线
Fig. 8 Temperature distribution curves of the bottom and top plates during insulating process

4 结束语

通过对热处理杀虫过程进行分析,设计了害虫耐热性试验装置。利用 Pt100 温度传感器和固态继电器,设计了以 AVR 单片机为控制核心的温度检测电路和温度控制电路,并完成了与之相关的上、下位

机的软件设计,实现了精度在 0.2℃ 的温度检测(10~70℃)。同时运用自适应加热速度控制、带死区的温度控制和 PID 控制等方法,实现了对加热速度和保温温度的精确控制,为准确分析害虫的耐热性提供了试验仪器。

参 考 文 献

1

李文婷,刘健民. 绿色壁垒与我国农产品出口贸易对策[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2010,16(3):34~36.
Li Wenting,Liu Jianmin. Outermeasures for green barrier and export trade of China's agricultural products[J]. Journal of Hunan Environment-biological Polytechnic, 2010,16(3):34~36. (in Chinese)

2

赵琪. 技术性贸易壁垒对我国农产品出口影响的实证分析[J]. 安徽农业科学, 2011,39(14):8 744~8 746.
Zhao Qi. Empirical analysis on the impacts on Chinese agro-products export caused by technical barrier to trade [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011,39(14):8 744~8 746. (in Chinese)

3

李景奎,戚大伟. 物理灭虫方法及机理研究[J]. 林业劳动安全, 2006,19(2):20~23.
Li Jingkui,Qi Dawei. Physical control methods against insects and study on their mechanism[J]. Forestry Labour Safety, 2006,19(2):20~23. (in Chinese)

4

马玉花,赵忠,江志利,等. 苦杏仁精油的熏蒸杀虫活性研究[J]. 西北植物学报, 2007,27(9):1 879~1 883.
Ma Yuhua,Zhao Zhong,Jiang Zhili,et al. The fumigating activity of bitter almond oil for insects[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007,27(9):1 879~1 883. (in Chinese)

5

Negahban M,Moharramipour S,Sefidkon F. Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* besser against three stored-product insects [J]. Journal of Stored Products Research, 2007,43(2):123~128.

6

Sfara V,Zerba E N,Alzogaray R A. Fumigant insecticidal activity and repellent effect of five essential oils and seven monoterpenes on first-instar nymphs of *Rhodnius prolixus*[J]. Journal of Medical Entomology, 2009,46(3):511~515.

7

Ikediala J N,Tang J,Wig T. A heating block system for studying thermal death kinetics of insect pests[J]. Transactions of the ASAE, 2000,43(2):351~358.

8

Wang S,Tang J,Johnson J A,et al. Thermal-death kinetics of fifth-instar *Amyelois transitella* (Walker) (*Lepidoptera: Pyralidae*) [J]. Journal of Stored Products Research, 2002,38(5):427~440.

9

Wang S,Yin X,Tang J,et al. Thermal resistance of different life stages of codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) [J]. Journal of Stored Products Research, 2004,40(5):565~574.

10

赵捷,孙桂玲,谷兆麟. 高精度热疗灌注机温度测量系统的设计与实现[J]. 南开大学学报:自然科学版, 2007,40(5):72~75.
Zhao Jie,Sun Guiling,Gu Zhaolin. Design and realization of high precision temperature measurement system of heat treatment filler[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2007,40(5):72~75. (in Chinese)

11

席平原,朱江,申屠留芳. 带式输送机闭环特性动态分析与 PID 控制[J]. 农业机械学报,2010,41(12):210~214.
Xi Pingyuan,Zhu Jiang,Shentu Liufang. Analysis and PID control on dynamical performance of conveyor possessing closed-loop[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(12):210~214. (in Chinese)

(上接第 182 页)

6

汤涛林,李娇,倪汉华,等. 多波束深水网箱声学监测仪的研究[J]. 海洋渔业, 2009, 31(3): 330~334.
Tang Taolin, Li Jiao, Ni Hanhua, et al. Study on multi-beam acoustic monitor for deep water cages[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(3): 330~334. (in Chinese)

7

Michela P M , Croff K L, McLetchie K W, et al. A remote monitoring system for open ocean aquaculture [C]//Oceans 2002 MTS/IEEE, 2002(4): 2 488~2 496.

8

Chris Rillahan, Michael Chambers, Howell W H, et al. A self-contained system for observing and quantifying the behavior of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in an offshore aquaculture cage[J]. Aquaculture , 2009, 293(1~2): 49~56.

9

张小康. 深水网箱中鱼类声学散射特性和鱼群状态监测仪研究[D]. 厦门:厦门大学,2010.
Zhang Xiaokang. Study on acoustic scattering characteristics of fish and monitor system for bred fish in offshore fish cage[D]. Xiamen: Xiamen University, 2010. (in Chinese)