doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.03.042

马铃薯贮藏库调控系统设计与试验

王相友[1]　李少川[1]　王法明[2]　李学强[2]　李腾训[1]　王荣铭[1]
(1.山东理工大学农业工程与食品科学学院,淄博 255000;2.山东思代尔农业装备有限公司,德州 253600)

摘要:针对目前马铃薯贮藏方式、管理方式不当和贮藏效果不佳的问题,根据马铃薯贮藏工艺条件,设计了一套马铃薯贮藏环境调控系统。该调控系统利用温度传感器、湿度传感器和 CO_2 浓度传感器对环境参数进行实时检测,通过调节进出气窗、风机、压缩机组以及加湿装置,对马铃薯贮藏环境的温度、相对湿度以及 CO_2 体积分数等参数进行调控,使贮藏环境中的温度、相对湿度以及 CO_2 体积分数等参数满足马铃薯的贮藏要求。各测点的温度误差在 -0.3 ~ 0.3℃范围内,各测点温度极差为 0.6℃,检测温度与真实温度基本一致;调控试验中,库内温度处在系统设定的允许范围内,库外温度对于库内温度影响较小,相对湿度和 CO_2 体积分数均可控制在合理范围内。该调控系统能够较好地改善马铃薯的贮藏环境。

关键词:马铃薯;贮藏库;调控系统;设计
中图分类号:S532;S229⁺.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2020)03-0363-08　　**OSID**:

Design and Experiment of Potato Storage Equipment Control System

WANG Xiangyou[1]　LI Shaochuan[1]　WANG Faming[2]　LI Xueqiang[2]　LI Tengxun[1]　WANG Rongming[1]
(1. *School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo* 255000, *China*
2. *Shandong Star Agricultural Equipment Co., Ltd., Dezhou* 253600, *China*)

Abstract: Aiming to solve the problems of unsuitable storage and management and poor storage effect, a set of potato storage environment control system was designed according to the technological conditions of potato storage. The system used temperature sensor, humidity sensor and CO_2 concentration sensor to monitor the environmental parameters in real time. By adjusting the inlet air window and outlet air window, fan, compressors and humidification device, the environment temperature parameters in callus period, the temperature, humidity and CO_2 concentration in storage period were regulated. The purpose was to make the storage environment attain the requirements of potato storage. In the temperature accuracy test of each measuring point, the temperature error of each measuring point was within -0.3 ~ 0.3℃, and the temperature range of each measuring point was 0.6℃, the monitoring temperature was basically the same as the real temperature on the whole. In the experiment of regulation effect, the temperature of callus period and storage period was within the allowable range of the system set value, while the temperature outside the storage had little effect on the temperature inside the storage, and the humidity and CO_2 concentration could be controlled within a reasonable range. Therefore, it was very important to improve the storage environment of potato, accelerate the postharvest callus, prolong the storage period and ensure the quality of potato.

Key words: potato; storage house; regulation and control system; design

0　引言

马铃薯是世界第四大农作物,并且具有粮食、蔬菜以及轻工业原料等多种用途。随着马铃薯主粮化战略的实施,我国马铃薯种植面积和总产量均居世界第一。因此,科学贮藏对于马铃薯产业的健康发展具有重要意义[1-3]。

在马铃薯贮藏期间,其自身的呼吸作用会使贮藏环境中的温度、湿度以及气体环境发生变化,长期处于这种环境将会导致马铃薯的品质下降[4]。目前,国内

收稿日期:2020-01-03　修回日期:2020-01-26
基金项目:山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019NJ010)
作者简介:王相友(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事农产品加工技术与装备研究,E-mail:wxy@sdut.edu.cn

马铃薯贮藏大多采用传统的方式,缺少合理的温控、制冷设施,以及受限于当地自然条件等,严重的会产生“烂库”现象,造成马铃薯产业巨大的经济损失[5-6]。因此,改善马铃薯贮藏条件和方式、提高马铃薯的贮藏品质对于马铃薯产业的良性发展至关重要。

欧、美一些发达国家非常重视马铃薯的贮藏保鲜,在抑芽、控制病害以及延长贮藏时间方面进行了大量的研究[5,7-9]。同时,通过高新技术的应用在马铃薯贮藏方面形成了完备的控制系统,包括储前处理、贮藏环境的控制和冷链运输等,大大提高了马铃薯的贮藏保鲜品质[10-11]。我国大部分马铃薯种植地区仍然采用传统土窖和普通冷库,达不到高品质、大容量的贮藏要求[12-14]。现阶段,针对马铃薯贮藏的环境监控系统,在应用过程中存在温度、湿度以及 CO_2 浓度分布不均的问题[15]。由于贮藏环境复杂,以单片机为控制核心的控制系统存在易受环境干扰的问题[16]。而且,当前使用的调控系统与马铃薯贮藏工艺关联不紧密,达不到温度、湿度以及气体浓度有机结合的效果。

为了获得较好的贮藏效果,解决当前马铃薯贮藏环境适用性不强的问题,本文研究马铃薯贮藏的环境因素,并根据这些因素,设计一套基于 PLC 控制的马铃薯贮藏环境调控系统。

1 控制系统结构设计

1.1 总体结构

本系统是根据山东思代尔农业装备有限公司建造的马铃薯贮藏库进行设计,该马铃薯贮藏库采用全地上式结构并进行内部结构布局的优化,使其具有多容量、通风性好以及隔热性能好的特点。

马铃薯贮藏环境调控系统主要由主控制器、进出气窗电推杆、压缩机组、加湿装置、风机以及传感器等构成,其控制系统结构位置分布示意图如图 1 所示。

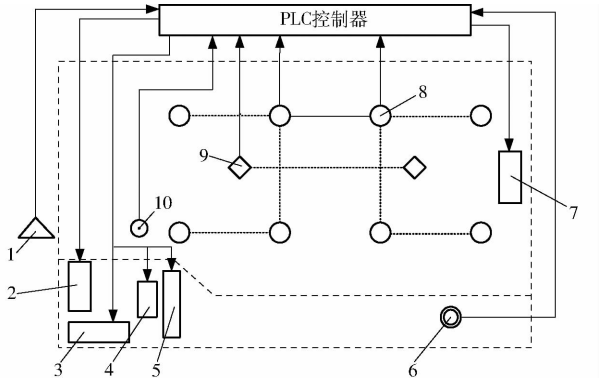

图 1 控制系统结构分布示意图

Fig. 1 Distribution diagram of control system structure

1. 库外温度传感器 2. 进气窗电推杆 3. 压缩机组 4. 风机 5. 加湿装置 6. 风量传感器 7. 出气窗电推杆 8. 温度传感器 9. 湿度传感器 10. CO_2 浓度传感器

1.2 控制原理

马铃薯收获后入库采用散装的贮藏方式,马铃薯入库至出库期间,均会经过愈伤期和贮藏期,为了加快产后愈伤以及延长贮藏周期,需要对贮藏环境进行调控。

在愈伤期需要保持合适的通风,保证贮藏环境具有合适的温度,并保持马铃薯表面干燥,促使马铃薯形成愈伤组织,在此过程中,需要对入库的马铃薯进行持续的通风,直到表面愈伤组织形成,马铃薯开始进入贮藏期。

在贮藏期,马铃薯自身的生理活动会造成库内温度升高、湿度增大和 CO_2 浓度升高等一系列变化,系统利用各种传感器对库内环境信息进行检测,并作出相应的应答达到环境调控的目的。

在我国北方地区,马铃薯贮藏期库外温度很低,一般可以直接利用库外空气为冷源进行库内温度调控,由于库外空气湿度降低,远达不到贮藏湿度要求,因此在降温的同时应开启加湿装置,避免库内湿度过低导致的马铃薯失水现象。当检测库外温度过高,无法作为库内降温冷源时,需要利用压缩机组,将空气降低至适宜温度,然后通过风机将低温空气吹至库内,进而实现降温的目的;当库外温度过低,直接吹入会使马铃薯发生冻伤或者表面形成冷凝水,此时进气窗与出气窗应开启一定的角度,风机和加湿装置运行,然后将库内与库外空气同时吸入混气仓,待库外低温空气与库内空气混合使温度适宜后,再通过风机将其吹入库内,进而实现降温、加湿目的;当库外温度适宜时,进气窗与出气窗完全开启,风机和加湿装置运行,进而实现降温、加湿的目的。

在整个过程中,安装于压力仓内的风量传感器对风量信息进行检测,保证空气能够到达库压力仓的最远端。在调节库内温度的过程中,会保持合适的通风,因此 CO_2 浓度也会随着通风时间的延长而降低,当温度和湿度条件满足时,其 CO_2 浓度会达到合适的水平,有效保持适宜的马铃薯贮藏环境,保证贮藏品质以及降低马铃薯贮藏损失。

2 控制系统硬件设计

该调控系统以 PLC 为控制核心,包括主控制模块、执行模块、检测模块、人机交互模块、故障报警模块和电源模块等,其硬件结构如图 2 所示。温度传感器、湿度传感器和 CO_2 浓度传感器将检测的库内信息发送至主控制模块进行处理,再将控制指令发送至执行器进行动作,进而实现控制要求。

该调控系统选用西门子 S7-200PLC 为主控制器,具有工作稳定性强、处理信息能力强、运算速度

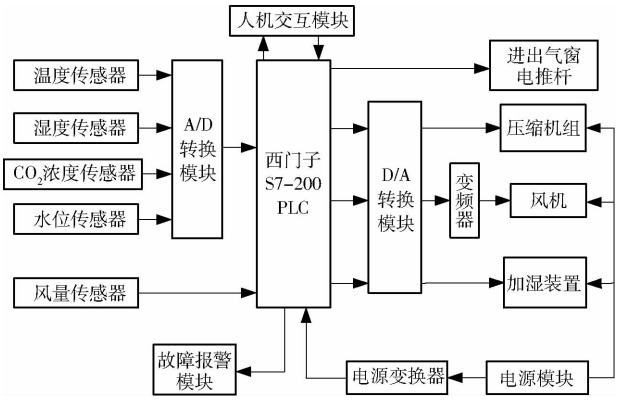

图 2　控制系统硬件结构简图

Fig. 2　Schematic of control system hardware structure

快和能耗低等特点。温度传感器、湿度传感器、风量传感器、水位传感器和 CO_2 浓度传感器共同构成该系统检测模块，用于贮藏环境的监控。进出气窗电推杆、压缩机组、风机和加湿装置构成该系统的执行模块，用于接收主控制器指令，并做出相应的执行动作。检测模块和执行模块与主控制模块之间需要进行数模信号转换，该系统采用 EM235 转换模块以满足要求，由于该模块输入端使用时只能设置一种量程与分辨率，因此，当模块输入端既有电压信号又有电流信号时，则需要使用多个 EM235 转换模块。

2.1　传感器和执行件选择

温度传感器分为库内温度传感器和库外温度传感器，库外温度传感器采用 QAC3171，其中工作电压为 13.5 ~ 35 V（直流），测量范围为 - 50 ~ 50℃，输出信号为 4 ~ 20 mA，安装高度大于 2.5 m，且阳光不能直射；库内温度传感器采用 JK - PT100 型温度传感器，测量范围为 - 20 ~ 50℃，其中工作电压为 24 V（直流），输出信号为 4 ~ 20 mA，精度为 ±0.14℃。湿度传感器采用 QFM2101 型风管式传感器，通过传感元件的函数变化关系来得出相对湿度，其中工作电压为 13.5 ~ 35 V（直流），输出信号 4 ~ 20 mA，测量范围 0 ~ 100%，测量精度为 ±3%。风量传感器采用 JY - WF2 型风速传感器，测量范围为 0 ~ 20 m/s，启动风速为 0.3 m/s，测量误差在 0.01 m/s 以内，其中供电电压 24 V（直流）。CO_2 浓度传感器采用新型红外检定技术进行 CO_2 体积分数的测量，反应迅速灵敏，避免了传统电化学传感器的寿命及长时间漂移问题，其型号为 LOG - CO220，供电电压 12 ~ 36 V（直流），测量范围 0 ~ 20%，且具有 0 ~ 10 V 的输出信号。选用 DLK - 201 型水位传感器，量程为 0 ~ 1 m，供电电压为 15 ~ 30 V（直流），输出信号为 0 ~ 10 V，综合精度为 ±0.002 5 m。

进气窗和出气窗的开闭由电推杆的伸缩来实现，选用 NKLA46 型电推杆，其中电推杆工作电压是 24 V（直流），电推杆有效行程为（500 ±5）mm，空载速度为（20 ±2）mm/s，满载速度为（11 ±1.1）mm/s。根据要求控制电动机的正反转来达到电推杆伸缩的效果。加湿装置主要用来保证贮藏环境的湿度，当湿度低于设定值时，水泵开始注水，利用风机吹动将水雾化并带入库内，实现改善库内湿度的目的，选取的水泵工作电压为 220 V（交流），由 PLC 控制器将开启或者关闭信号传递至水泵控制器，来控制水泵的工作状态。

2.2　电源模块与触摸屏选择

对于马铃薯贮藏库，其供应电源为 220 V（交流），需要用 A/D 转换模块将交流电压220 V 转换成直流电压 24 V，以满足 PLC 的电源使用要求。该调控系统需要对温度、湿度和 CO_2 体积分数等参数进行设定，对调控过程中的各环境参数、风速信息以及水位信息进行显示。触摸屏选用北京昆仑通态自动化软件科技有限公司的嵌入式一体化触摸屏来实现，型号为 TPC7062KX，根据设计与显示要求，界面显示如图 3 所示。

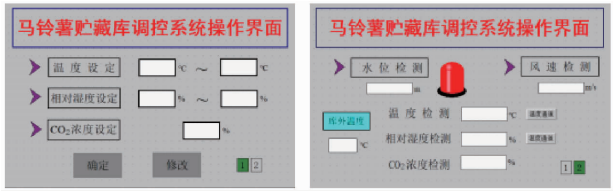

图 3　触摸屏显示和设置界面

Fig. 3　Touch screen display and setup interface

2.3　报警模块

该调控系统增加报警功能，防止工作人员在不知情的情况下进入贮藏库发生危险。系统利用库内的 CO_2 浓度传感器对其进行检测，系统设定 CO_2 体积分数等于或者大于系统设定值 0.3%[12,17]，则警报器发出警报，提醒工作人员不要进入，程序流程图如图 4 所示。

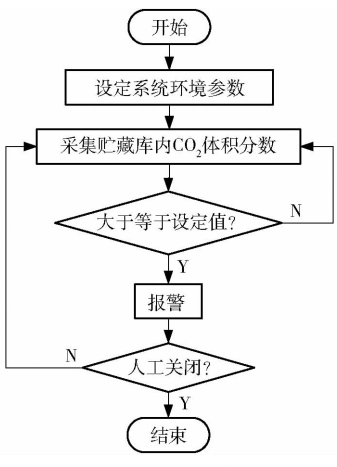

图 4　系统报警程序流程图

Fig. 4　System alarm program flow chart

3 控制系统软件设计

3.1 主要参数的检测

该调控系统通过传感器对贮藏环境检测,并将环境信息反馈到 PLC 控制器,检测到的环境信息通过模/数转换模块转换成数字量,PLC 控制器对转换的数字量进行处理和分析,并对执行元件发出指令控制其动作,在执行过程中,传感器实时检测库内信息,保证贮藏环境中适宜的温度、湿度以及 CO_2 浓度。

温度检测分为库外温度检测和库内温度检测,温度传感器的输出信号为模拟量,经过数字量转换,再通过控制器运算处理,得出相应的检测值,其计算式为

$$T = (T_{\max} - T_{\min})\frac{T_{AIW} - 6\,400}{25\,600} + T_{\min} \tag{1}$$

式中 T——温度,℃

$T_{\max}$——温度传感器测量上限值,库外取 50℃,库内取 50℃

$T_{\min}$——温度传感器测量下限值,库外取 -50℃,库内取 -20℃

T_{AIW}——温度模拟量采样值

马铃薯贮藏库内湿度的检测根据电流的变化并转换为数字量得出,其计算式为

$$H = (H_{\max} - H_{\min})\frac{H_{AIW} - 6\,400}{25\,600} + H_{\min} \tag{2}$$

式中 H——相对湿度,%

$H_{\max}$——湿度传感器测量上限值,取 100%

$H_{\min}$——湿度传感器测量下限值,取 0

H_{AIW}——湿度模拟量采样值

贮藏库内 CO_2 体积分数可以根据测得的电压得出,已知传感器的测试量程以及输出信号的范围,因此其计算式为

$$D = (D_{\max} - D_{\min})\frac{D_{AIW}}{32\,000} + D_{\min} \tag{3}$$

式中 D——CO_2 体积分数检测值,%

$D_{\max}$——传感器测量上限值,取 20%

$D_{\min}$——传感器测量下限值,取 0

D_{AIW}——模拟量采样值

为了保证低温空气能够克服薯堆的阻力,需要利用风速传感器对通风道风速进行检测,系统中的风速传感器输出的信号为脉冲信号,其实际计算式为

$$V = \frac{2\pi r}{\tan\alpha}\frac{S}{t} \tag{4}$$

式中 V——气体流速,m/s

r——叶轮的平均旋转半径,m

α——叶片与旋转轴的夹角,(°)

S——PLC 在 t 时间内接收到的脉冲数

t——检测时间,s

湿度传感器检测的湿度信号传递至 PLC 控制器,来控制水泵的开闭。湿度达到要求而水位传感器检测水池未满时,由备用水箱向水池内注水,为防止溢出水池,由水位传感器对水位信息进行检测,水池高度为 400 mm。由 DLK-201 型液位传感器的输出曲线得,输出电压与液位压力呈正比例关系,因此其计算式为

$$p = (p_{\max} - p_{\min})\frac{p_{AIW}}{32\,000} + p_{\min} \tag{5}$$

式中 p——压力,Pa

$p_{\max}$——压力测量上限值,取 20 Pa

$p_{\min}$——压力测量下限值,取 0

p_{AIW}——模拟量采样值

液位高度计算式为

$$h = \frac{p - p_0}{\rho g} \tag{6}$$

式中 ρ——液体密度,kg/m^3

g——重力加速度,m/s^2

p_0——测试点的大气压力,Pa

3.2 主程序设计

该调控系统需要实现温度、湿度、CO_2 浓度等环境参数和风速、水位信息的检测,以及环境参数的设定输入和调控过程中信息显示等功能。调控系统的运行时期为愈伤期和贮藏期,在调控过程中,温度和湿度需要多点检测,为了方便调控,系统根据各测点的平均温度和各测点平均湿度进行调控。

在马铃薯的愈伤期主要是除去马铃薯表面水分、降低贮藏温度,以加快马铃薯表皮愈伤。首先启动该系统,自检并进行初始化,首先利用人机交互模块设定马铃薯愈伤期的温度参数范围,即 $T_{\min} \leqslant T \leqslant T_{\max}$,利用库内、外温度传感器对温度进行检测,得到库内温度 T 和库外温度 T_W,并将检测的温度信号输送至主控制模块,经过运算后将控制信号输送至执行模块。当库内温度 T 在系统设定的温度范围内时,此时进气窗和出气窗关闭;当库内温度 T 未在系统设定范围内时,进、出气窗和风机开启,并调整风机转速,以调控库内温度使其保持均匀,直到满足温度设定。经过一段时间的调节,马铃薯外表面形成愈伤组织,此时愈伤期结束,人工关闭系统,其主程序控制流程如图 5 所示。

在马铃薯贮藏期,根据不同马铃薯用途确定合适的贮藏环境参数,并利用人机交互模块对调

控系统进行设定，其中贮藏期程序流程图如图 6 所示。

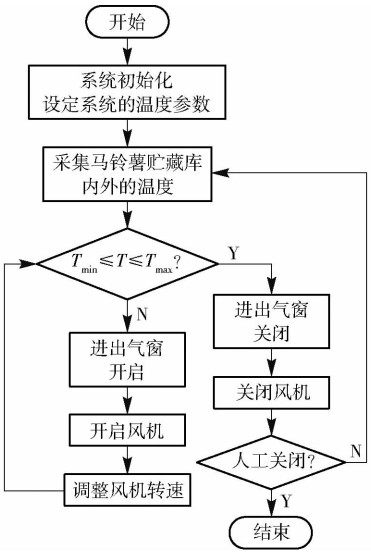

图 5　愈伤期程序流程图

Fig. 5　Flow chart of program for callus period

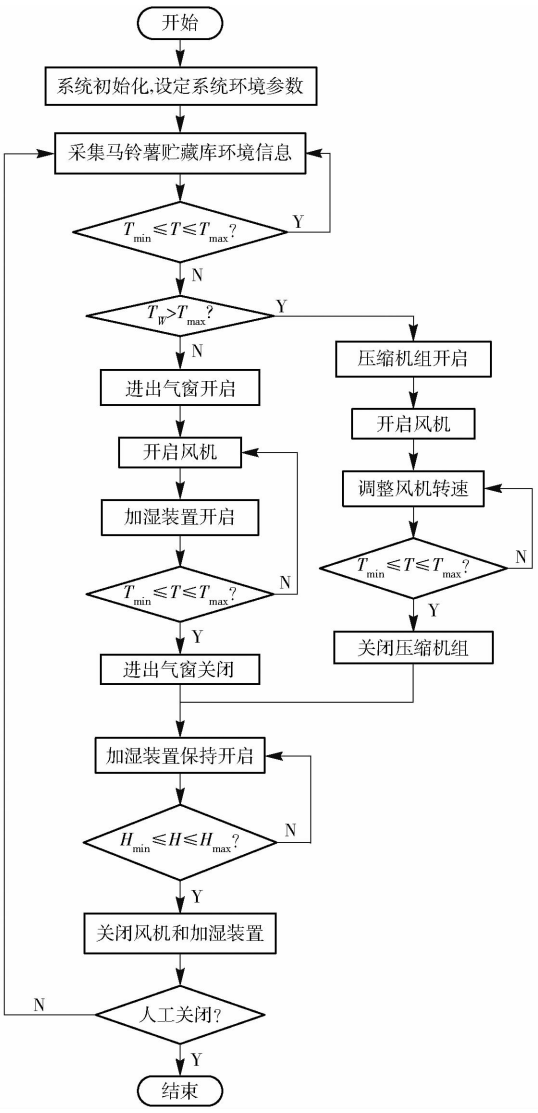

图 6　贮藏期程序流程图

Fig. 6　Flow chart of program for storage period

首先对马铃薯愈伤期的设定进行归档清零，同时对系统进行自检并再次进行初始化，之后利用环境传感器对贮藏环境信息进行采集，将库内温度 T 与温度设定范围进行比较，当库内温度满足设定温度时，系统不发出调控指令，且对贮藏环境保持持续检测；当库内温度不满足设定温度时，再根据库外温度 T_W 与温度设定最大值 T_{max} 进行判定，根据对比结果做出调控决策，如果不满足温度条件 $T_W > T_{max}$，则开启进出气窗，开启风机调整转速并开启加湿装置，直到满足温度条件，关闭进出气窗；如果满足条件 $T_W > T_{max}$，则开启压缩机组，并开启风机，直到满足温度设定范围，关闭压缩机组。

当系统检测贮藏环境温度满足设定范围时，保持加湿装置与风机开启，并检测库内湿度条件是否满足设定的湿度范围，若满足 $H_{min} \leqslant H \leqslant H_{max}$，关闭加湿装置和风机；若不满足湿度 $H_{min} \leqslant H \leqslant H_{max}$，则保持风机和加湿装置运行，直到满足系统设定湿度范围，在贮藏期系统一直处于运行状态直到人工关闭系统，停止运行。

3.3　辅助程序设计

在马铃薯贮藏的两个时期，一般情况下库外温度会远低于设定的温度范围，而在较长储藏时间期内，可能会出现库内外温差小于 4℃ 的情况[18]，使库内温度在长时间未达到设定范围，影响该系统调控效果，因此对该系统增加辅助程序，辅助各时期的调控。为了获得较好的调控效果，当系统检测到设定范围的最大值与库外温度之差小于 5℃ 时，系统将开启压缩机组辅助主程序调控，使温度能够在较短时间内达到设定要求，直到满足要求关闭压缩机组，如图 7 所示。

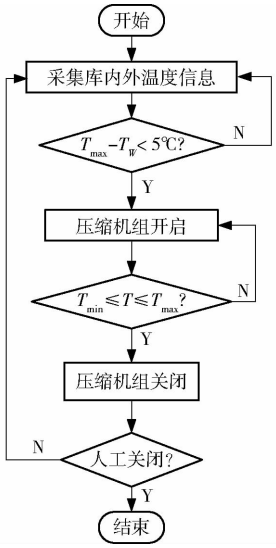

图 7　辅助程序流程图

Fig. 7　Flow chart of auxiliary program

4 试验与结果分析

4.1 试验条件

试验场所为内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗地区山东思代尔农业装备有限公司建造的马铃薯加工薯贮藏库(图 8),储存量为 850 t,占地面积为 625 m^2,长度 24 m,宽度 14 m,墙体设置保温层,以减小外界对贮藏库内部环境的影响。该调控系统试验时间为 2019 年 9 月中旬至 10 月下旬,为保证测试准确性,选择晴朗的天气进行测试,试验场景如图 8 所示。

图 8 试验场景

Fig. 8 Test scenario

4.2 分布测点精度测定试验

由于马铃薯贮藏库的面积较大,贮藏库的温度需要设置多个测点进行检测,因此需要确定设定值与真实值之间的误差范围。首先将系统安装完毕,开启系统,通过系统将温度设定值分别设定为 16、12、8、4℃,温度测点从进气窗一端向另一端进行标记,靠近压力仓一侧将温度测点依次标记为 1、3、5、7,远离压力仓一侧将温度测点依次标记为 2、4、6、8,并且每一个测点设置水银温度计进行温度测量,对各测点进行 5 次读数,并将读数进行整理取平均值,得到试验数据如表 1 所示。

由表 1 所知,真实值与设定值之间的误差均在 -0.3 ~ 0.3℃之间,真实值的极差为 0.6℃,即各测点的最大温度差为 0.6℃,且小于 1℃,基本上满足系统的调控要求。

4.3 愈伤期温度测定试验

为了检验该系统在马铃薯愈伤期对温度的调控效果,系统利用温度传感器对库内外温度进行检测。测定之前首先开启系统,把马铃薯愈伤期的系统温

表 1 各测点温度变化

Tab. 1 Temperature variation at each measuring point ℃

设定值/℃	参数	测点							
		1	2	3	4	5	6	7	8
16	真实值	16.3	16.0	15.9	16.1	16.0	16.0	15.9	15.7
	误差	0.3	0	-0.1	0.1	0	0	-0.1	-0.3
12	真实值	11.9	12.3	11.7	12.1	11.8	12.2	11.9	12.0
	误差	-0.1	0.3	-0.3	0.1	-0.2	0.2	-0.1	0
8	真实值	7.9	8.2	8.3	8.0	7.8	8.1	8.0	7.9
	误差	-0.1	0.2	0.3	0	-0.2	0.1	0	-0.1
4	真实值	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	4.1	3.9	4.0
	误差	0.3	0.1	0	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	0

度范围设定为 10 ~ 15℃[19-20],马铃薯入库后,由于带有一定的温度,需要经过一段时间的通风降温,并除去表面水分,以加快马铃薯愈伤期。本试验在马铃薯入库温度逐渐降至系统设定温度范围内时开始进行检测。测试周期为 48 h,每 4 h 记录一次数据,把测点 1 ~ 8 温度整理并进行平均值计算,并将计算后的数据和库外温度进行整理,其试验结果如表 2 所示。

由表 2 可知,通过该系统的调控,贮藏库内各温度测点的温度基本处于设定范围内,并且当库外温度升高或者降低时,库内温度的平均值处于设定范围内,未出现温度骤变的现象,库外温度对于库内温度的变化影响较小,因此能够对愈伤期温度进行较好的调控。

4.4 贮藏期测定试验

经过一段时间的愈伤期,库内马铃薯开始进入贮藏期,而愈伤期温度要求与贮藏期温度要求会有一定的差别,因此需要分别调控,为了检验该系统在马铃薯贮藏期对环境参数的调控效果,系统利用传感器对环境参数进行测定。首先将系统初始化,将贮藏期的系统相对湿度范围设定为 85% ~ 95%,CO_2 报警体积分数设定为 0.3%,温度参考范围为 6 ~ 10℃,为了能够长时间地保持该温度范围,将系统温度范围设定为 7.5 ~ 9.5℃[21]。

(1)温度测定试验:通过通风降温,将环境温度降低到设定的贮藏温度范围,利用系统中的温度传感器对贮藏环境的温度以及库外的温度进行检测,测试周期为 48 h,每 4 h 记录一次数据,把测点 1 ~ 8 的温度进行求平均值计算,其试验结果如表 3 所示。

由表 3 可知,库内温度基本处于系统设定范围内,并且库外温度较低时,温度下降小于 1℃,未出

表 2　愈伤期温度测试试验结果

Tab. 2　Test results of temperature in callus period

采集	库内温度/℃									库外
时间/h	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8	平均值	温度/℃
4	14.3	14.4	14.6	14.1	14.0	14.3	14.5	14.2	14.3	8
8	14.2	14.3	14.1	13.9	13.6	14.1	13.5	13.5	13.9	2
12	14.2	14.5	14.4	13.9	13.9	14.2	13.9	13.8	14.1	6
16	14.1	14.7	14.6	14.8	14.7	14.2	14.5	14.4	14.5	14
20	14.8	14.9	14.5	14.6	14.7	14.6	14.7	14.8	14.7	19
24	14.6	14.6	14.5	14.4	14.0	14.5	13.9	13.9	14.3	13
28	14.2	14.3	14.1	13.9	13.6	14.1	13.5	13.5	13.9	9
32	14.2	14.4	14.1	13.9	13.4	13.9	13.6	13.7	13.9	5
36	14.5	14.0	13.8	14.4	14.7	14.5	13.7	14.0	14.2	7
40	14.3	14.4	14.2	14.8	15.2	14.6	13.4	13.5	14.3	11
44	14.6	14.4	14.5	14.6	14.9	14.6	13.9	13.7	14.4	16
48	14.8	14.2	14.3	14.8	14.7	14.5	14.6	14.1	14.5	17

表 3　贮藏期温度测定试验结果

Tab. 3　Test results of temperature in storage period

采集	库内温度/℃									库外
时间/h	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8	平均值	温度/℃
4	8.9	9.0	9.1	8.9	9.3	9.1	8.9	8.8	9.0	−2
8	9.0	8.9	9.4	9.2	9.5	9.2	9.3	9.1	9.2	3
12	9.5	9.3	9.4	9.5	9.2	9.4	9.6	9.3	9.4	7
16	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0	9.1	9.4	9.1	9.2	5
20	9.1	9.5	9.2	9.5	9.3	9.2	9.5	9.1	9.3	3
24	9.3	9.1	9.5	9.2	8.9	8.8	8.5	8.7	9.0	0
28	8.6	8.7	9.1	8.9	9.3	8.7	8.8	9.1	8.9	−6
32	9.1	8.7	9.1	9.6	8.9	8.8	8.7	9.1	9.0	−3
36	9.2	9.0	9.8	9.5	9.3	8.9	8.9	9.0	9.2	1
40	9.1	9.2	9.5	10.1	9.1	9.2	8.9	9.3	9.3	4
44	9.8	9.4	9.6	9.3	9.7	9.5	9.6	9.9	9.6	6
48	8.7	9.2	8.9	9.7	9.1	9.3	8.9	9.0	9.1	2

现温度骤降的现象，并且检测值始终处于设定范围内，因此调控期间受外界温度变化的干扰较小，表明系统对于贮藏环境的温度调控效果较好。

（2）湿度和 CO_2 浓度测定试验：为了检测系统同样能够达到较好调控贮藏环境的目的，利用相关传感器对湿度和 CO_2 浓度进行检测，试验与温度检测同时进行，测试周期为 48 h，每 4 h 记录一次数据并将检测的数据进行整理，其试验结果如表 4 所示，相对湿度测点从进气窗一端向另一端进行标记，依次标记为位置 1、位置 2。

该系统在贮藏期调节过程中，会有开启进出气窗的调节过程，而空气的相对湿度相对于库内较小，当空气进入后，理论上会使贮藏期库内相对湿度大幅度下降，而由表 4 可知，库内相对湿度基本处于设定范围内，表明该调控系统能够较好地调控库内的相对湿度；在测试期间，经过系统调控，CO_2 体积分数均在 0.3% 以下，并且在贮藏检测期间系统未发生报警的现象，因此该调控系统能够保证较适宜的 CO_2 浓度条件。综上所述，该系统能够对马铃薯贮

表 4　贮藏期湿度和 CO_2 浓度测定试验结果

Tab. 4　Test results of humidity and CO_2 concentration in storage period

采集	相对湿度/%			CO_2
时间/h	位置 1	位置 2	平均值	体积分数/%
4	92	94	93	0.17
8	91	93	92	0.15
12	90	88	89	0.12
16	90	90	90	0.15
20	89	93	91	0.20
24	93	91	92	0.22
28	88	88	88	0.19
32	87	85	86	0.11
36	94	90	92	0.16
40	90	92	91	0.09
44	91	89	90	0.13
48	89	89	89	0.14

藏期的库内环境参数进行调控。

5 结论

(1)基于 S7 - 200PLC 设计的马铃薯贮藏库调控系统是以温度作为第一调控对象,在满足环境设定温度的情况下,再对环境湿度和 CO_2 浓度进行调节,通过调节使得各环境参数满足多种用途马铃薯的贮藏要求。该调控系统具有稳定性高、易操作的优点。

(2)分布测点精度测定试验表明,每个测点的温度真实值和设定值的误差均在 -0.3 ~0.3℃范围内,各个测点之间的最大温差为 0.6℃,小于 1℃,各测点之间的温度分布较均匀,基本上满足系统的调控要求,在一定程度上改善了温度分布不均的问题。

(3)通过对环境参数的测定,愈伤期的温度基本处于设定范围内,收到较好的调控效果,促进愈伤组织的形成;贮藏期的温度、湿度也基本处于设定范围内,而且测定期间 CO_2 体积分数均在设定的 0.3% 以下,通过调控使贮藏环境满足系统的设定要求,因此能够满足马铃薯贮藏的基本条件。

参 考 文 献

[1] 李文娟,秦军红,谷建苗,等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J]. 中国食物与营养,2015,21(7):5 -9.
LI Wenjuan, QIN Junhong, GU Jianmiao, et al. Developing potato as a staple food in China based on world potato development [J]. Food and Nutrition in China, 2015,21(7): 5 -9. (in Chinese)

[2] 杨雅伦, 郭燕枝, 孙君茂. 我国马铃薯产业发展现状及未来展望[J]. 中国农业科技导报, 2017(1):35 -42.
YANG Yalun, GUO Yanzhi, SUN Junmao. Present status and future prospect for potato industry in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017(1):35 -42. (in Chinese)

[3] TAMASI G, CAMBI M, GAGGELLI N, et al. The content of selected minerals and vitamin C for potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from the high Tiber Valley area, southeast Tuscany[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41:157 -164.

[4] 赵赛楠,马艺超,高若婉,等. 国内外马铃薯贮藏保鲜技术研究现状[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1):161 -166.

[5] 田甲春,田世龙,葛霞,等. 马铃薯贮藏技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2017(4):114 -118.

[6] 陈爱昌, 张杰, 骆得功. 马铃薯贮藏期腐烂原因及防治对策[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(2):112 -113.
CHEN Aichang,ZHANG Jie,LUO Degong. Causes and countermeasures for potato rot during storage period[J]. Chinese Potato Journal, 2010, 24(2):112 -113. (in Chinese)

[7] KIRK W W, GACHANGO E, SCHAFER R. Effects of in-season crop-protection combined with postharvest applied fungicide on suppression of potato storage diseases caused by *Fusarium pathogens*[J]. Crop Protection, 2013, 51(9):77 -84.

[8] PAUL V, EZEKIEL R, PANDEY R. Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives [J]. Journal of Food Science and Technology,2016, 53(1):1 -18.

[9] ELMORE J S, BRIDDON A, DODSON A T, et al. Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: effects of variety and tuber storage time[J]. Food Chemistry, 2015,182(1):1 -8.

[10] FOUKARAKI S G, COOLS K, CHOPE G A, et al. Impact of ethylene and 1 -MCP on sprouting and sugar accumulation in stored potatoes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016,114:95 -103.

[11] 伍玉菡. 马铃薯贮藏·加工·主食化研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016,44(29):71 -72.
WU Yuhan. Research advances of potato storage, process and staple food industrialization[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016,44(29):71 -72. (in Chinese)

[12] 王亮,李超,张立新,等. 不同贮藏条件对马铃薯块茎采后生理及贮藏效果的影响[J]. 山西农业科学, 2018(9):1535 -1539,1544.
WANG Liang,LI Chao,ZHANG Lixin, et al. Effects of different storage conditions on post-harvest physiology and storage effect of potato tubers[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2018(9):1535 -1539,1544. (in Chinese)

[13] 王洁,李喜宏,赵亚婷,等. 不同贮藏方式对马铃薯品质的影响[J]. 食品科技, 2017(11):42 -46.
WANG Jie, LI Xihong, ZHAO Yating, et al. Effects of different storage methods on quality of potato[J]. Food Science and Technology, 2017(11):42 -46. (in Chinese)

[14] 普红梅, 姚春光,李燕山,等. 低温贮藏对两个马铃薯品种生理特性的影响[J]. 保鲜与加工, 2016(5):1 -4.
PU Hongmei, YAO Chunguang, LI Yanshan, et al. Effects of low temperature storage on physiological property of two potato varieties[J]. Storage and Process, 2016(5):1 -4. (in Chinese)

[15] 贾倩民, 陈彦云, 陈科元. 马铃薯贮藏的环境影响因子及监控系统[J]. 农机化研究, 2014,36(3):58 -61.
JIA Qianmin, CHEN Yanyun, CHEN Keyuan. Environmental factors and the monitor system for potato storage[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014,36(3):58 -61. (in Chinese)

[16] 吕高, 霍达. 基于 STC12C5A60S2 单片机的温度控制系统的研究与实现[J]. 电力学报, 2015,30(3):86 -90.
LÜ Gao, HUO Da. Research and implementation of temperature control system based on STC12C5A60S2[J]. Journal of Electric Power, 2015, 30(3):86 -90. (in Chinese)

[17] 秦跃龙. CO_2 对马铃薯块茎采后品质的影响研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2014.
QIN Yuelong. Study of CO_2 on the quality of potato tuber postharvest[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology,2014. (in Chinese)

[18] 丁超. 储粮机械通风技术拓展研究[D]. 南京:南京财经大学, 2010.
DING Chao. Expansion study on grain storage mechanical ventilation[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2010. (in Chinese)

[19] 丁映,陈鹰,乐俊明,等. 马铃薯的贮藏与管理技术[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(1):165 -167.

[20] 郝智勇. 马铃薯贮藏的影响因素及方法[J]. 黑龙江农业科学, 2014(10):112 -114.

[21] 司怀军, 戴朝曦,田振东,等. 贮藏温度对马铃薯块茎还原糖含量的影响[J]. 西北农业学报, 2001, 10(1):22 -24.
SI Huaijun, DAI Zhaoxi, TIAN Zhendong, et al. Effect of storage temperature on reducing sugar content in potato tubers[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2001, 10(1):22 -24. (in Chinese)