

基于 PLC 的模糊 PID 控制器在热风干燥箱上的应用

Fuzzy PID controller based on PLC and application on hot air drying chamber

王 磐¹ 洪苑乾¹ 黄汉英¹
WANG Pan¹ HONG Yuan-qian¹ HUANG Han-ying¹
胡月来¹ 聂少伍¹ 赵思明²
HU Yue-lai¹ NIE Shao-wu¹ ZHAO Si-ming²

(1. 华中农业大学工学院, 湖北 武汉 430070; 2. 华中农业大学食品科技学院, 湖北 武汉 430070)

(1. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China;
2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

摘要:针对热风干燥过程中温、湿度变化的非线性和大滞后现象,系统采用了模糊控制与常规 PID 控制相结合的方法,利用模糊 PID 控制原理,设计了模糊 PID 控制器,实现了 PID 参数在 PID 控制系统中的在线自整定。试验结果表明:在目标温度设定为 15℃时,与常规 PID 控制相比,基于模糊 PID 控制的热风干燥控制系统最大超调量下降了 3℃,调节时间减少了 10 min,稳态误差为±0.5℃,具有更好的动态和静态响应特性,在参数改变的情况下更能适应热风干燥箱的工程应用需求。

关键词:模糊 PID; PLC; 热风干燥; MATLAB; 参数自整定
Abstract: According to the non-linearity and large-lag phenomena in temperature and humidity in hot air drying process, conventional PID control and fuzzy control were combined using fuzzy PID control theory in the system. A Fuzzy PID controller was designed to achieve the PID parameters' online self-tuning. Results: when the target temperature is set at 15℃, compared with the conventional PID control, the maximum overshoot of the hot air drying control system based on fuzzy PID control is decreased by 3℃, the adjustment time is reduced by 10 min and the steady state error is ±0.5℃, with better dynamic and static response characteristics, and in the case of parameter changes can better adapt to the hot air drying oven engineering applications.

Keywords: fuzzy PID; PLC; hot air drying; MATLAB; PID parameter self-tuning

干燥物料的表面以去除物料中水分的方法,目前广泛应用于农产品加工工程中。常压热风干燥技术在中国目前的农产品加工产业中应用达到 90% 以上^[1-2]。

温、湿度是物料干燥过程中非常重要的两个参数,直接影响干燥物料品质^[3-5],因此将温、湿度控制在一个合理的范围内对物料干燥是非常重要的。目前常用的 PID 控制虽然结构简单,但控制超调量大,调节能力较弱,且依赖于被控对象的数学模型。而温度和湿度在热风干燥过程中属于非线性、大滞后的控制对象,要得到精确的数学模型比较困难, PID 控制方法满足不了控制精度的要求^[6-8]。针对上述问题,本试验拟采用模糊控制与常规 PID 控制相结合的方法,设计模糊 PID 控制器,以偏差值 e 和偏差的变化 ec 作为输入, PID 参数 K_p 、 K_i 、 K_d 作为输出,利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改,以改善热风干燥箱的控制精度。

1 系统硬件组成

热风干燥箱控制系统以 PLC 为核心控制器, PC 机作为人机界面,主要由加热器、加湿器、制冷系统、转轮除湿系统、循环风机、温湿度传感器等组成。

温度控制主要是通过加热器和制冷系统来调节,湿度控制主要通过加湿器、制冷系统的蒸发器表冷除湿和转轮吸附除湿来实现,通过循环风机对干燥箱进行循环送风,并利用变频器对循环风机进行调速,采用 PC 机作为控制系统的上位机,采用 PC/PPI 协议与 PLC 进行通讯,实现对系统的监控^[9]。控制系统的硬件结构见图 1。

2 模糊 PID 控制器

2.1 模糊 PID 控制系统结构

模糊 PID 控制器的结构主要包括模糊控制和参数可调整的 PID 控制两部分。模糊 PID 控制系统结构见图 2。

热风干燥技术是将具有一定温、湿度的热空气通过待干

基金项目:现代农业技术体系建设专项基金(编号: CARS-46-23)

作者简介:王磐,男,华中农业大学在读硕士研究生。

通信作者:黄汉英(1964—),女,华中农业大学副教授。

E-mail: hhywmx@mailhzaui.edu.cn

收稿日期: 2016—04—08

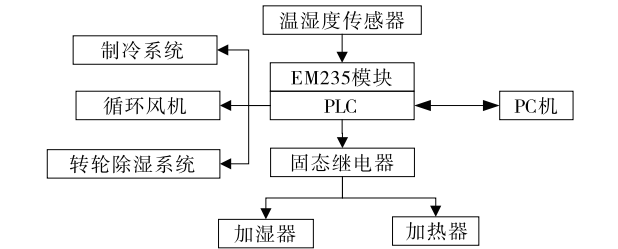


图 1 控制系统硬件结构图

Figure 1 The control system hardware structure

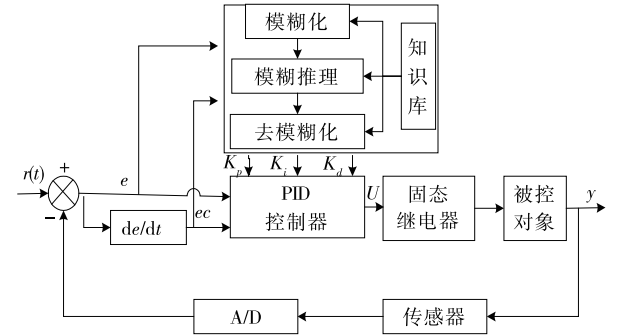


图 2 模糊 PID 控制系统结构图

Figure 2 Fuzzy PID control system structure

设温度(或湿度)的给定值为 $r(t)$, 温湿度传感器检测到的值为 y , 模糊 PID 控制器的输入变化量设置为 y 与 $r(t)$ 的偏差值 e 以及偏差的变化 ec , 输出变化量设置为 PID 的 3 个可调整参数 K_p 、 K_i 、 K_d 。

2.2 模糊 PID 控制器的设计

在控制系统中, 将箱内的温、湿度设定值作为控制零界点。模糊控制器的输入变化量为 y 与 $r(t)$ 之间的偏差值和偏差的变化, 模糊输出变化量为 K_p 、 K_i 、 K_d 的修正值 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d , 建立模糊 PID 控制器。现在以温度为例来说明模糊 PID 控制器的设计。

2.2.1 温度模糊 PID 控制器各参数的确定 选定温度偏差值 e 和温度偏差的变化 ec 作为模糊控制器的输入变化量, 选定 PID 控制器的参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的修正值 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 作为模糊控制器的输出变化量。

选取温度偏差值 e 的基本论域为 $[-6\ 6]$, 温度偏差的变化 ec 的基本论域为 $[-3\ 3]$; 选取语言变量偏差 E 的模糊论域为 $[-3\ 3]$, 偏差的变化 EC 的模糊论域为 $[-3\ 3]$; 模糊子集为 $\{NB\ NM\ NS\ Z\ PS\ PM\ PB\}$, 模糊意义简记为 $\{负大、负中、负小、零、正小、正中、正大\}$; 设定语言输入变量 K_p 、 K_i 、 K_d 的基本论域分别为 $[-0.3\ 0.3]$ 、 $[-0.06\ 0.06]$ 、 $[-3\ 3]$, 模糊论域分别为 $[-0.3\ 0.3]$ 、 $[-0.06\ 0.06]$ 、 $[-3\ 3]$, 模糊集为 $\{NB\ NM\ NS\ Z\ PS\ PM\ PB\}$, 意义同上。

模糊控制器的相关参数见表 1。

2.2.2 隶属度函数(MF)的确定 在模糊控制器的建立过程中, 通过隶属度函数可以方便的获取各模糊语言变量的赋值

表 1 模糊控制器的相关参数					
Table 1 Parameters of fuzzy controller					
变量	e	ec	ΔK_p	ΔK_i	ΔK_d
语言变量	E	EC	K_p	K_i	K_d
基本论域	$[-6\ 6]$	$[-3\ 3]$	$[-0.3\ 0.3]$	$[-0.06\ 0.06]$	$[-3\ 3]$
模糊子集	NB NM NS Z PS PM PB				
模糊论域	$[-3\ 3]$	$[-3\ 3]$	$[-0.3\ 0.3]$	$[-0.06\ 0.06]$	$[-3\ 3]$
量化因子	$3/6=0.5$	$3/3=1$	1	1	1

表。为了方便计算, 故选取三角形隶属度函数曲线^[10-12]。

由于系统中选取的温度输入、温度输出的语言变量都是 7 个语言值, 即 NB NM NS Z PS PM PB, 对于输入变量偏差 e 选取的 7 个语言值为 NB(温差负大)、NM(温差负中)、NS(温差负小)、Z(温差适中)、PS(温差正小)、PM(温差正中)、PB(温差正大); 温度偏差的变化的 7 个语言值为 NB(负温差变化严重)、NM(负温差变化中等)、NS(负温差变化不严重)、Z(温差没变化)、PS(正温差变化小)、PM(正温差变化中等)、PB(正温差变化严重); 输出变量 K_p 、 K_i 、 K_d 选取的 7 个语言值分别为 NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、Z(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)。根据现有的 PID 参数的整定经验, 确定输入、输出变量在论域上的隶属度函数见图 3。

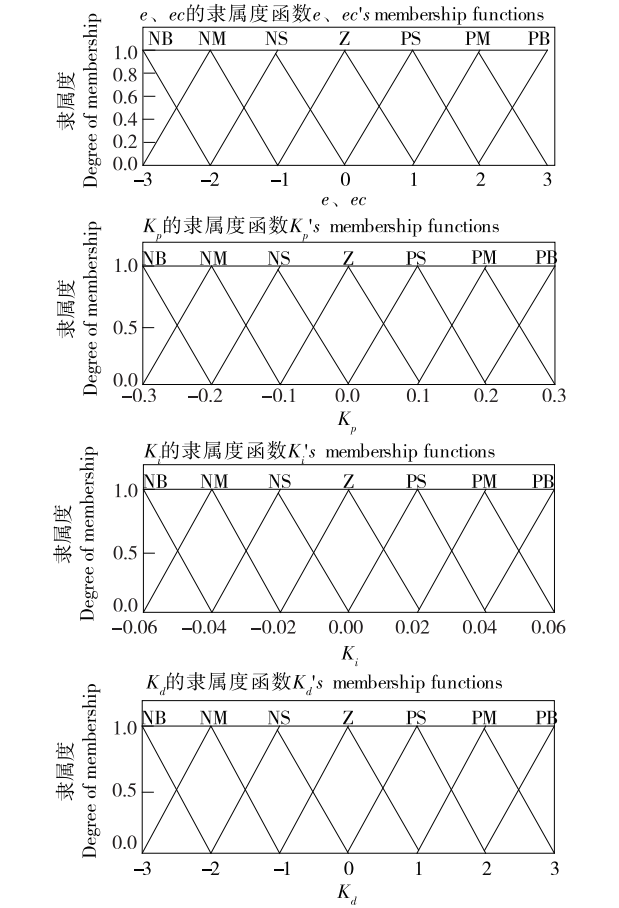


图 3 输入输出变量的隶属度函数

Figure 3 Input output variables' membership function

2.2.3 建立模糊规则表 模糊规则是输入量和输出量之间模糊蕴涵关系的表现,是用 F 条件命题对这种关系进行了表述。基于系统的稳态性能、响应速度、超调量和稳定精度等因素考虑,PID 参数的调整经验规则^[13-15]:

- (1) 当 $|e|$ 较大时,可选择取较大 K_p ,这样可以加快系统的响应速度,并减小系统的时间常数和阻尼系数。但 K_p 过大时则会导致系统的不稳定。为避免出现积分过饱和现象,可选取较小的 K_d 。此时,可取 $K_i=0$ 以避免系统的超调量较大。
- (2) 当 $|e|$ 处于中等大时,可取较小的 K_p 以保证系统响应的超调量较小。此时,为确保系统的响应速度较快,可取

适中的 K_d 值。同时,可将 K_i 适当增大。

(3) 当 $|e|$ 较小时,可选取较大的 K_p 和 K_i 以改善系统的稳态性能,同时为了避免系统在平衡点时出现震荡, K_d 的取值应适中。

模糊规则的制定是一个非常复杂的过程,一般是依据上述经验原则和操作者的实际经验来进行总结的。本系统采用的是“IF …… THEN ……”的结构模式,根据实际的专家经验和试验过程中的经验总结得到 49 条模糊控制规则,并利用计算机仿真技术对这些规则进行了优化,结果见表 2。

根据模糊控制规则的要求,利用 MATLAB 软件对相应的参数进行计算,得出模糊 PID 控制规则查询表见表 3。

表 2 温度输出变量 K_p 、 K_i 、 K_d 的控制规则表
Table 2 K_p , K_i , K_d control rules table

e	ec						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	Z/Z/NM	Z/Z/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z
NS	PM/NB/Z	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NS/PS/Z
Z	PM/NM/Z	PM/NM/NS	PS/NS/NS	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/Z
PS	PS/NM/Z	PS/NS/Z	Z/Z/Z	NS/PS/Z	NS/PS/Z	NM/PM/Z	NM/PB/Z
PM	PS/Z/PB	Z/Z/PS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/Z	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	Z/Z/PB	Z/Z/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

表 3 模糊 PID 控制规则查询表
Table 3 Fuzzy PID control rules query table

e	ec						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	0.3/-0.06/1.02	0.3/-0.06/-1	0.2/-0.04/-3	0.2/-0.04/-3	0.1/-0.02/-3	0/0/-1.98	0/0/1.02
-2	0.3/-0.06/1.02	0.3/-0.06/-1	0.2/-0.04/-3	0.1/-0.02/-1.98	0.1/-0.02/-1.98	0/0/-1	-0.1/0/0
-1	0.2/-0.06/0	0.2/-0.04/-1	0.2/-0.02/-1.98	0.1/-0.02/-1.98	0/0/-1	-0.1/0.02/-1	-0.1/0.02/0
0	0.2/-0.04/0	0.2/-0.04/-1	0.1/-0.02/-1	0/0/-1	-0.1/0.02/-1	-0.2/0.04/-1	-0.2/0.04/0
1	0.1/-0.04/0	0.1/-0.02/0	0/0/0	-0.1/0.02/0	-0.1/0.02/0	-0.2/0.04/0	-0.2/0.06/0
2	0.1/0/3	0/0/1.02	-0.1/0.02/1.02	-0.2/0.02/1.02	-0.2/0.04/0	-0.2/0.06/1.02	-0.3/0.06/3
3	0/0/3	0/0/1.98	-0.2/0.02/1.98	-0.2/0.04/1.98	-0.2/0.04/1.02	-0.3/0.06/1.02	-0.3/0.06/3

2.3 系统仿真试验

为了满足在工程上的使用要求,利用计算技术在 MATLAB 软件上对模糊 PID 控制器进行仿真,得出 K_p 、 K_i 、 K_d 在论域上的输出波形见图 4~6。由图 4~6 可知,当温度偏差为-3,温度偏差的变化为 3 时,输出变量 K_p 为 0, K_i 为 0, K_d 为 1.02,与表 3 结果一致。

3 控制系统软件设计

控制系统软件的设计主要包括 PLC 控制程序的设计、PC 机监控程序的设计。

3.1 模糊 PID 控制程序设计

采用 STEP-7 软件对模糊 PID 控制器的控制程序进行

设计,程序主要分为输入量量化程序、模糊控制查表程序、去模糊化程序等,流程图见图 7。

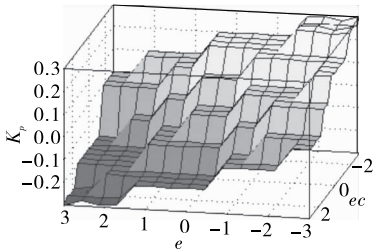


图 4 K_p 在论域上的输出波形图

Figure 4 The waveform of the output diagram of K_p

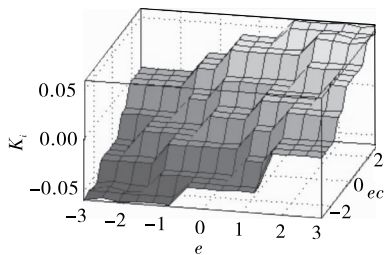


图 5 K_i 在论域上的输出波形图

Figure 5 The waveform of the output diagram of K_i

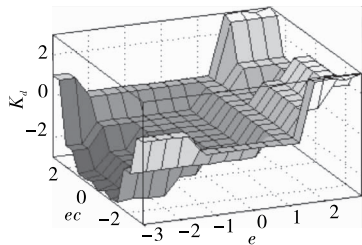


图 6 K_d 在论域上的输出波形图

Figure 6 The waveform of the output diagram of K_d

首先,对系统进行初始化设置,并利用 HX-4211WS 型温湿度传感器对热风干燥箱内部的温度和湿度进行检测,输送到 EM235 模块,由 PLC 接收 EM235 模块送来的温、湿度信号,并与设定值进行比较得到偏差信号,调用模糊 PID 控制算法,通过输出占空比可调的 PWM 脉冲信号对固态继电器的通断时间进行控制,来完成系统对温、湿度的准确控制。

3.2 监控程序设计

PC 机监控程序主要是实现对系统数据的采集、存储、显示和设置等功能,系统采用 WinCC7.0 实现监控工程的组态。监控系统主要包括 6 个界面:用户登录、工艺流程、参数设置、数据采集、趋势显示和故障警报界面。

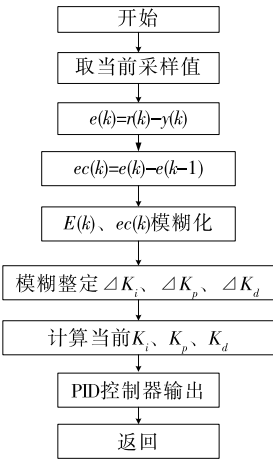


图 7 模糊 PID 控制流程图

Figure 7 Fuzzy PID control flow

4 运行试验

4.1 试验材料

鲜活团头鲂(武昌鱼):尾重 0.5 kg 左右,购于华中农业大学农贸市场。

4.2 试验设备

循环热风干燥箱:QYH-1500A 型,东莞市常平企亚工业设备制造厂。经本课题组改造后,计算机控制系统可对温度、湿度、风速进行实时的检测或控制,热风干燥箱整机结构示意图见图 8。

4.3 试验方法

4.3.1 样品处理

鲜活团头鲂→去鳞、剖背去除内脏→清洗并进行 10% 盐水腌制→沥干→悬挂待用

4.3.2 干燥方法 在环境温度为 5~15℃ 的条件下,将干燥温度设置为 15℃,干燥湿度设置为 41%,干燥风速设置为

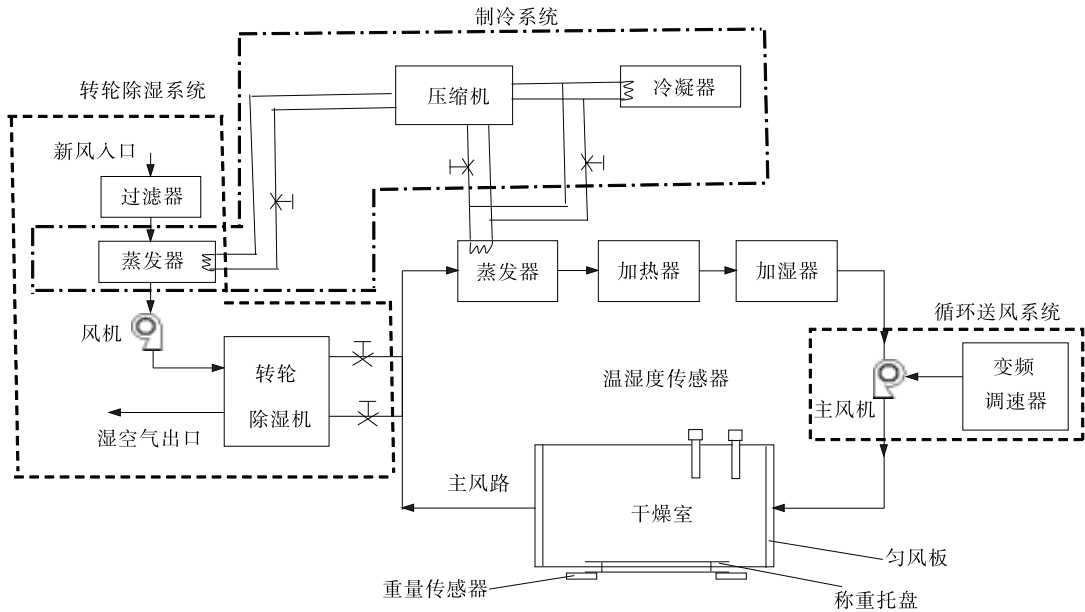


图 8 整机结构示意图

Figure 8 The whole machine structure diagram

2 m/s。以平行于风向的方式将沥干的团头鲂悬挂在热风干燥箱的干燥室内进行干燥,每条间距约 5 cm,以保证团头鲂的各个表面与热风充分接触,时间约 53 h。

4.4 试验结果

分别采用模糊 PID 和常规 PID 两种控制方式对团头鲂进行干燥处理,得到的温度响应曲线见图 9。

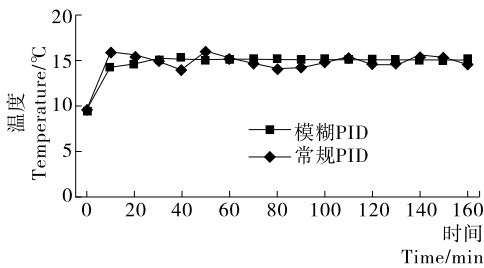


图 9 温模糊 PID 和常规 PID 响应曲线

Figure 9 Temperature Fuzzy PID and conventional PID response curves

由图 9 可知,在团头鲂的干燥过程中,与常规 PID 控制相比,模糊 PID 控制条件下的温度调节时间缩短了 10 min,超调量下降了 3℃,约 2 h 时即达到设定温度值,稳态误差为±0.5℃,均小于常规 PID 控制。试验结果表明:模糊 PID 控制相较于常规 PID 控制更能满足参数时变系统的响应要求,适应性更好。

5 讨论

本研究利用 MATLAB 软件,采用离线方式计算出查询表,并进行模拟仿真。应用 STEP-7 设计控制程序,解决了 PID 参数在线自整定难的问题。实际运行结果表明,模糊 PID 控制精度提高,响应速度快,超调量小,达到令人满意的效果。

针对干燥过程温湿度的模糊 PID 控制器的设计,其关键是模糊查询表的设计,而模糊查询表的设计仍然是根据专家经验和试验总结进行优化得到的,有一定的局限性。为了进

一步提高系统性能,可以采用其他智能控制技术与模糊控制相结合的控制方法。

参考文献

[1] 黄立新,陈国华,ARUN S Muiumdar. 干燥技术最新研究进展和展望[J]. 干燥技术与设备,2007,5(5): 215-219.

[2] 赵存洋. 节能型果蔬热风干燥实验装置及控制系统研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2011: 15-21.

[3] 罗刚,黄远洋. 节能型恒温恒湿箱的研制[J]. 机械设备,2005(8): 51-52.

[4] 刘伟涛. 小型太阳能干燥设备研制及试验研究[D]. 广州:华南理工大学,2010: 20-24.

[5] 刘友明,赵思明,熊善柏,等. 鱼面的高温高湿干燥工艺研究[J]. 食品科技,2007(5): 221-223.

[6] 杨世勇,徐国林. 模糊控制与 PID 控制的对比及其复合控制[J]. 自动化技术与应用,2011,30(11): 21-25.

[7] 吴宏鑫,沈少萍. PID 控制的应用与理论依据[J]. 控制工程,2003,10(1): 37-42.

[8] 吴晓强,李亚莉,周红杰,等. 基于模糊 PID 的茶叶烘干机恒温控制系统研究[J]. 食品与机械,2015,31(4): 111-113, 255.

[9] 聂少伍,黄汉英,胡月来,等. 基于 PLC 谷物脉冲微波杀虫机自动控制系统[J]. 制造业自动化,2014,36(10): 142-144, 153.

[10] 卢燕,罗青华,魏克新. PLC 实现的模糊 PID 控制器及在高炉布料系统中的应用[J]. 天津理工大学学报,2008,24(2): 73-75.

[11] 王述彦,师宇,冯忠绪. 基于模糊 PID 控制器的控制方法研究[J]. 机械科学与技术,2011,30(1): 166-172.

[12] 李敬兆,汤文兵. PLC 实现的模糊 PID 控制器及在高浓度啤酒稀释系统中的应用[J]. 工业控制计算机,2006,19(7): 7-9.

[13] 赵永娟,孙华东. 基于 MATLAB 的模糊 PID 控制器的设计和仿真[J]. 微计算机信息,2009,25(1): 48-50.

[14] 李敬兆,汤文兵,顾荣荣. PLC 实现的模糊 PID 控制器及其在通风机风量调节系统中的应用[J]. 江南大学学报:自然科学版,2006,8(5): 422-426.

[15] 方良材,黄卫萍. 基于 MATLAB 的果酒发酵温度 PID 控制系统比较研究[J]. 食品与机械,2014,30(3): 83-86.

信息窗

我国农兽药残留标准基本覆盖大宗农产品

23 日提请十二届全国人大常委会第二十五次会议审议的国务院关于研究处理食品安全法执法检查报告及审议意见情况的反馈报告提出,有关部门正在加快农兽药残留标准的制修订,目前农兽药残留标准已基本覆盖我国大宗农产品和常规农兽药品种。

国家食品药品监督管理总局局长、国务院食品安全办主任毕井泉受国务院委托向全国人大常委会作报告时表示,农业部与国家卫生计生委组建农药残留、兽药残留两个标准审评委员会,目前已制定 5 724 项农兽药残留限量和 932 项检测方法国家标准。

毕井泉说,计划每年新制定农药残留限量标准 1 000 项,兽药残留限量标准 100 项,5 年内农兽药残留限量标准总数达到 10 000 项以上,将与国际食品法典基本一致。

根据食品安全法规定,国家对农药的使用实行严格的管理制度,加快淘汰剧毒、高毒、高残留农药,推动替代产品的研发和应用,鼓励使用高效低毒低残留农药。

根据报告,国务院食品安全办会同发展改革委、财政部等部门研究起草了《“十三五”国家食品安全规划》。计划到 2020 年,农作物病虫害绿色防控覆盖率达 30%以上,农药利用率达 40%以上,主要农产品质量安全监测总体合格率达到 97%以上。

在种植养殖环节源头治理方面,报告指出,农业部按照成熟一个淘汰一个的原则,分期分批对高毒农药采取禁限用措施。禁用高毒农药 39 种,高毒农药使用量占农药使用总量的比例下降到 2%以下,淘汰小、乱、差饲料企业近 4 000 家。

(来源:www.foodmate.net)