

文章编号:2095-6002(2013)04-0048-07

引用格式:黄志刚,刘科,刘凯,等. 食品装备过程控制的现状及发展趋势. 食品科学技术学报,2013,31(4):48-54.

HUANG Zhi-gang, LIU Ke, LIU Kai, et al. Present Situation and Development Trend of Process Control in Food Equipment. Journal of Food Science and Technology, 2013,31(4):48-54.

食品装备过程控制的现状及发展趋势

黄志刚, 刘科, 刘凯, 江玥芃
(北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

摘要:过程控制技术对于提高产品质量以及节省能源等方面均起着十分重要的作用,在食品装备方面得到了广泛的应用. 分析了食品装备的国内外发展现状,介绍了过程控制技术在食品装备方面的应用,以及最新的过程控制技术,结合我国食品装备的发展目标,提出了食品装备过程控制的发展趋势.

关键词:食品装备;过程控制;发展趋势

中图分类号:TS203

文献标志码:A

“十二五”时期是我国全面建设小康社会的关键时期,根据我国“十二五”规划的总体部署,国家发展改革委、工业和信息化部联合印发了《食品工业“十二五”发展规划》,为我国未来五年内食品工业的发展指明了方向,突出体现了我国加快食品工业结构调整、促进产业转型升级、建设持续健康发展的具有中国特色的现代食品工业体系的目标和决心. 文件明确提出“十二五”的主要任务是,提高我国食品工业的装备研制水平,突破目前食品装备数字化设计与先进制造、智能控制与过程检测、节能减排、质量控制、监测与检测、安全卫生共性技术与标准等关键装备与配套技术方面的瓶颈,加快我国食品装备的自主化进程,满足我国食品工业长期的发展需求^[1].

1 食品装备的现状

根据《中华人民共和国食品安全法》,食品是指各种供人食用或者饮用的成品和原料以及按照传统既是食品又是药品的物品,但是不包括以治疗为目的的物品^[2]. 结合现代社会对装备的概念界定,食品装备可定义为在把可食用或者可饮用的原料加工成食品(或半成品)过程中所应用的机械装置和设

备. 随着信息技术的发展,食品装备也逐渐在传统的机械装备中嵌入了传感器、集成电路、操作软件等等的信息元器件,形成依赖软件控制的机电信息一体化的食品加工装备、系统或生产线.

1.1 食品装备的分类

食品装备,主要是在食品的加工环节中应用的机械设备和装置,大致可分为以下几类:物料输送、搅拌、微粒化、浓缩、干燥、杀菌、冷冻、叠层和辊压、成型、焙烤、包装等几个方面的机械设备^[3].

1)物料输送机械:对原料和废料进行输送的装置. 按物料的特性可分为液体和固体物料输送机械;按输送原理和形式可分为带式、螺旋式、刮板式、提升斗式、振动式和悬浮气力式输送机,气推式输送槽和流送槽,真空吸料装置,液料泵等^[4].

2)物料搅拌机械:对原料进行混合的设备. 主要有通用型搅拌机、调和机、打蛋机、真空和面机、干料混合机(旋转式和固定式)等^[4].

3)微粒化机械:通过离心、剪切、碰撞、摩擦等外力作用把物料变成微小颗粒状的设备. 常见的有均质机(高压式、离心式、超声波式及喷射式^[5])、胶体磨、粉碎机(冲击式和研磨式)、切割机等.

4)浓缩机械:减少物料中不需要的部分而使需

要部分的含量相对增加的设备。主要方法有过滤、蒸发、沉积、离心、压榨等。主要的设备包括过滤器、分选机(气流式和重力式)、真空浓缩设备(升膜式、降膜式、离心式、片式及刮板薄膜式)、榨汁机、榨油机等。

5)干燥机械:减少物料中水分的设备。食品干燥设备包括喷雾干燥机(高温式、冷凝式)、箱式干燥机、带式干燥机(真空)、流化床干燥设备、滚筒干燥设备、微波干燥设备、真空冷冻干燥设备、气流干燥设备、太阳能热泵干燥机、悬浮烘干机、低温循环式烘干机等。近年来还发展出一些组合干燥技术和新理论。微波真空冷冻干燥是将高效的微波辐射加热技术和真空冷冻干燥技术相结合的一项组合式新技术。超临界 CO_2 干燥则是利用在超临界条件下 CO_2 的气液界面消失(不存在表面张力)的现象使被干燥物料得以最大程度地保留食品营养成分和最大限度地脱除食品水分的低温干燥技术,这种技术因为不存在物料内部因毛细管表面张力作用下导致其微观结构改变而非常受到食品、制药行业的追捧^[6]。超声波真空喷雾干燥可以用于生产高活性的益生菌,可用于乳品行业^[7]。

6)杀菌机械:杀灭物料中致病菌的设备。常见的有直接加热杀菌设备,管式杀菌设备,板(片)式、螺旋板式和刮板式杀菌器,储槽式杀菌器,高压杀菌设备,微波杀菌装置,食品超高压杀菌装置,欧姆杀菌装置,CIP清洗系统(又称定位清洗线)等等^[5]。目前由于热杀菌对食品品质的影响,像前面提到的高压杀菌、微波杀菌还有放射线杀菌、紫外线杀菌、臭氧杀菌、超声波等都属于冷杀菌技术。冷杀菌由于杀菌条件易于控制,外界环境影响较小,由于杀菌过程中食品的温度并不升高或升高很低,既有利于保持食品功能成分的生理活性,又有利于保持色、香、味及营养成分,在包装与食品机械的设计与制造上得到广泛的应用^[8]。

7)冷冻机械:使物料冻结、凝固的设备。常见的低温制冷设备有隧道式连续速冻机、螺旋式速冻机、升降式速冻设备、带式冻结机、流态化速冻装置、平板式速冻机、回转式速冻机、液氮速冻装置、液体 CO_2 速冻设备等。

8)辊压和叠层机械:把散粒状物料挤压成饼片状,将之交错重叠在一起的设备。常见的机器有卧式辊压机、立式辊压机、辊压夹酥机、叠层机等。

9)成型机械:把物料制成一定规则形状的机

械。按成型原理可分为:冲印、辊印和辊切成型机,膨化挤压成型机,包馅成型机,擦圆成型机,卷绕成型机。按食物类型可分为:饼干、面包、糕点、馄饨、馒头、饺子、通心粉、馅饼、面条等等各种食品成型机。

10)焙烤机械:在物料燃点之下通过干热的方式使物料脱水变干变硬的烤炉。按结构可分为箱式、隧道式、风车式和旋转式烤炉;按热源可分为普通电炉、红外烤炉、微波炉、煤炉、燃气炉、木炭炉等。

11)包装机械:是指能完成全部或部分食品包装过程的机械。按主要功能可分为充填机、封口机、裹包机、多功能包装机、封箱机。

1.2 食品装备的国内外发展现状

现代食品工业的发展离不开食品装备的发展,食品装备是食品工业的物质保障,为食品工业提供强有力的支撑。中国的食品装备工业经历了从完全依赖进口、到引进模仿、再到自主创新的过程。作为新兴行业,食品装备工业在我国食品工业强劲需求的推动下取得了长足的进步。2010年,全国包装与食品机械实现产值1825亿元,增长23%,进口32.5亿元,出口19.1亿元。而1986年,全国包装机械的产值为8.6亿元,1998年产值为100亿元^[9]。

近年来,我国食品工业装备应用了诸如冷杀菌、超高压、微胶囊等新技术。一些主要农副产品(大米、小麦、油脂、肉类及果汁)的成套加工设备及技术也取得突破性进展。同时,我国食品装备市场出现了一些很有特点的优秀企业。其中有数十家大型优质装备的龙头企业,如烟台冰轮、广州达意隆、杭州中亚、南京轻机等;也有十几家以技术为优势的中小型企业,如成都经纬生产的方便面后端自动化设备,青岛海科佳的挂面自动包装生产线,上海远安生产的流体设备及不锈钢管件,湖南福马科生产的双螺杆挤压机可与国际知名品牌相媲美,广州胜川生产的中小型高档特种包装机。这些企业生产的产品大量应用了伺服控制、微机控制、智能诊断、柔性制造以及计算机图像控制等先进的过程控制技术,凭借这些优良的企业和他们的产品,我国在食品装备的自动化道路上夺回了部分国内市场,并成功出口创汇。根据中国机械工业联合会预计,从2011到2015年中国食品装备工业的总产值有望突破60000亿元人民币,并以16%的年平均增速继续发展。

发展形势喜人,但存在的问题也很突出。目前我国食品和包装机械在高端技术方面,特别是大量高科技的成套自动化设备仍主要依赖进口。例如塑

料薄膜双向拉伸设备,一条生产线近 1 亿元人民币,截止到目前,国内先后引进此类生产线共 110 条.国内乳品业大量使用的无菌包装盒、灌装设备几乎都为瑞典利乐公司一家提供.而大型无菌冷灌装、肉制品加工关键装备、柑橘汁加工关键装备、高效分离装备、大型乳品生产线、食品品质在线监测以及食品分析与检测装备等长期依赖进口^[1].由于我国食品装备行业起步比较晚,而且相配套的原材料和加工工业技术相对薄弱,加之研发队伍力量不足,同时长期缺乏政府的高度重视和政策、资金的支持,造成了目前国内食品装备工业普遍存在整体加工能力低下、加工技术落后,食品装备的稳定性和安全性较差、效率低、能耗高、环境污染严重.在 2011 年我国在食品科技方面的投入强度仅为 0.4%,不仅远低于发达国家 2% 以上的水平,也比新兴工业化国家 1.5% 的投入力度小,而且各类技术的标准化程度低、覆盖面小、标准类型不配套,标准覆盖率仅为 20%,国内尚不能生产而又迫切需求的食品装备占总数的 40% 之多^[1].食品装备已经整体滞后于高速发展的中国食品工业,而食品工业规模化、自动化和精细化的发展要求只好转投国际知名食品装备制造强国,从而造成目前我国食品装备工业对国外高端技术过度依赖的局面.

由于食品装备工业的相对落后,我国食物资源特别是大宗农产品深加工比例低,半成品多,制成品少,增值转化程度不高.2008 年我国食品工业总产值与农业总产值之比为 0.95:1,而发达国家这一比例约为 2:1 至 3:1^[10].从机械出口量看,意大利、德国和美国是目前世界上出口食品机械最多的国家,主要出口市场在欧盟区、亚洲的新工业化国家、南北美洲和非洲较为发达的地区.目前全球食品包装机械强国主要是德国、法国、美国、日本和意大利.德国的食品机械行业虽然以中小型企业为主,但其产品的技术含量、制造及加工的等级却很高.法国的食品机械主要集中在保鲜、储藏方面,把食品的工业化生产与传统工艺进行完美结合.意大利的食品装备工业特别重视研发投入,整个行业高于 60% 的从业人员在做产品的研发实验工作,只有不到 40% 的从业人员在进行产品的生产工作.美国的食品装备工业的发展从引进欧洲先进技术生产线开始,逐步发展为一套工业化标准生产模式.而日本食品装备工业则突出了食品安全和检测方面的发展.虽然这些国家生产的食品装备各具特色,各有所长,但都

在设计和制造上采用了大量的先进技术,他们的设备集机电光和微机控制于一体,实现在食品生产过程中的柔性化、数字化、智能化和系统化.凭借这些先进技术的应用形成了全球化的知名品牌及其核心竞争力.近年来,由发达国家倡导出现了世界各国的食品机械相关标准纷纷向国际标准(或欧洲标准)靠拢的热潮,即采用国际标准或区域标准作为本国技术标准的主要内容.这种热潮实际上推进了全球性的食品机械技术标准的一致性和协调性,直接促进了国际间食品机械技术交流和贸易往来的顺畅.据中国包装机械网统计,至 2005 年底约有 100 多个国家已经等效采用国际标准或欧洲标准,使国际标准的趋同化成为世界食品机械发展的一大主流.

2 过程控制的现状

根据全国科学技术名词审定委员会审定公布的定义可知,过程控制(process control)是为达到规定的目标而对影响过程状况的变量进行的操纵.在机械工程里,需要控制的变量一般为温度、压力、流量、液位和成分等等的工艺参数.在食品工业生产中,过程控制作为解决食品安全方面的主要技术手段,得益于其控制技术最优化与管理调度自动化相结合的多级计算机控制系统.

2.1 最新的过程控制技术

无论是在大规模的结构复杂的工业生产过程中,还是在传统工业过程改造中,过程控制技术对于提高产品质量以及节省能源等方面均起着十分重要的作用.尽管不同的自动控制装置执行的任务各不相同,但其本质都是通过控制物理参量来控制受控对象,让其自动保持设置的规律^[11].作为现代工业自动化控制的重要分支,过程控制开始应用于 20 世纪 30 年代,在控制方式上经历了从人工到自动,在控制内容上先后经历了 3 个发展阶段:分散控制阶段、集中控制阶段和集散控制阶段.从技术上归纳,目前成功运用的过程控制技术有:

1) 简单过程控制:主要应用于一些只有一个控制器的单回路控制或 PID 控制系统中^[12],是最简单最基本的一种反馈控制系统.

2) 复杂过程控制:是在简单过程控制系统的基础上再增加计算环节、控制环节或者其他环节的控制系统.主要的复杂过程控制技术有串级控制、前

馈控制、大滞后补偿控制、比值与均匀控制、分程与选择性控制、多变量解耦控制等^[12]。

3) 先进过程控制:是指基于数学模型且必须使用计算机来实现的控制系统。目前主要集中在预测控制、模糊控制、神经网络控制3个方面。例如自适应谐振神经网络控制,面向时间有序的过程辨识控制,故障诊断检测及容错控制,模糊-神经网络控制等^[13]。

4) 聚类融合控制:是融合多个传感器的数据信息,将其聚类成反映过程运行状况的类别,根据每一类别所描述的过程行为特点采取相应的控制策略的控制系统。主要的聚类融合方法有模式窗口与时间序列融合、模糊聚类融合、集中与分布的时间序列信息融合等^[14]。

5) 计算机集散控制:是相对于集中式控制而言的一种新型分布式计算机控制系统。这种随网络技术发展起来的控制系统综合了计算机、通讯、显示及控制4方面的技术,以通信网络为纽带可以形成一个庞大的多级过程控制和过程监控的计算机分散控制系统^[14]。目前广泛应用的网络技术是环网和总线网。

目前,过程控制正朝高级阶段发展,不论是从过程控制的历史和现状看,还是从过程控制发展的必要性、可能性来看,过程控制总是朝综合化、智能化方向发展成为计算机集成制造系统。一种以智能控制理论为基础,以计算机及网络为主要手段,对企业的经营、计划、调度、管理和生产等进行全方面的综合控制,实现从原料进库到产品出厂的自动化和整个生产系统信息管理的最优化^[12]。食品工业生产线若集成了先进的加工工艺数学模型和过程控制技术,就可以使食品质量得到极大的提高,同时使企业的生产管理更加方便而增强企业的核心竞争力。近年来,自动化仪表及装置向着智能化、数字化、模块化、高精度化和小型化的方向发展。其中智能化是最重要的特点,与常规仪表相比,智能仪表具有测量精度高、自动校准、自动修正误差和自诊断的能力,允许灵活地改变功能,实现高级控制,其最终将替代常规仪表^[15]。

2.2 过程控制在食品装备方面的应用

过程控制技术应用食品工业,始于20世纪70年代。由于食品生产中可能会有致病微生物污染的危险,制成品有可能不符合食品内的微生物含量要求或违反了食品法律等,过程控制技术开始从使生产过程中的某些参量保持不变从而保证食品产

量和质量稳定,发展到利用各种组合仪表和巡回检测装置进行食品生产过程的集中监视、操作和控制,再到基于计算机技术的自动化生产线与企业组织管理调度的完美结合,直到发展为过程控制系统开始与过程信息系统相结合后,具备过程控制技术的食品装备有了更多的功能^[16]。

目前,过程控制技术在食品装备工业的应用非常广泛,包括物料输送、搅拌、微粒化、浓缩、干燥、杀菌、冷冻、辊压和叠层、成型、焙烤、包装等等食品装备上基本都有过程控制系统,如:

采用模糊集和神经网络技术来决定食品工艺过程中的各项参数,在神经网络模型用于分析过程控制和检测变量之间的关系时,应用模糊集来解释检测到的变量^[15]。

基于变频技术的食品输送带变速控制,相比传统手动机械式变速,利用变频技术的交流调速技术可以大大减少输送带变速时物料位置、姿态的改变。

由芯片控制的新型脉冲式气流混合设备,相比于常见的机械式双螺旋锥形混合设备具有批处理能力大、混合速度快、混合均匀度高、单位能耗低等特点,特别适合于大批量物料的短时间均匀混合操作。

在传统的均质机上增加于HMI、PLC、变频器等控制单元,采用模糊控制与PLC控制算法复合,可以有效解决传统均质机控制系统在加热控制时温度超调量过大、加热控制时间过长的问题。

集散控制系统在真空浓缩设备上的应用,有效解决了使用中对温度、压力、流量、液位等过程参数的监视和控制问题。这种控制系统还可以进行多个过程参数的串级控制以实现不同的浓缩需求。

复杂控制技术,应用于真空冷冻干燥机上可实现对真空、加热、制冷、冷凝、除霜等工作部件的控制,应用于喷动床干燥设备上可实现对物品颗粒悬浮控制,应用于真空带式干燥机上可以实现膏类物料的干燥颗粒的可控性,应用于微波干燥机上可以实现微波干燥的温度恒定控制,应用于普通流化床干燥机上可以实现干燥介质与物料的温湿条件的联动控制,应用于太阳能热泵上可以控制太阳能与其他热源的耦合干燥应用。计算机集散控制技术,使受阻于控制低气压气体放电难题的微波真空冷冻干燥系统得到较快的发展,并促进了超临界CO₂干燥技术的发展。

在以往食品加压杀菌设备上增加集成控制电路,可以实现低压、高压以及超高压杀菌之间的转

换. 利用高压电子脉冲输出控制电路及过流过压保护电路可以进行食品的非热杀菌技术控制. 对现有的食品蒸汽杀菌锅安装 PID 控制单元就可以监控杀菌锅工作时全程的温度变化, 对多台不同性能的杀菌锅都安装控制器可以通过聚类融合技术或现场总线技术监控所有杀菌过程.

3 发展与展望

3.1 我国食品装备的发展目标

根据国家“十二五”规划, 我国食品装备的发展主要集中在两个方面^[1].

在通用装备方面, 重点集中在: 1) 在食品的杀菌方面, 重点发展大型的智能化连续超高温瞬时灭菌, 粉类杀菌, 微波杀菌, 膜除菌, 超高压杀菌等设备; 2) 在食品的节能干燥方面, 重点发展太阳能干燥, 真空微波组合新型干燥设备, 热风高效节能干燥; 3) 在食品高效分离和浓缩方面, 重点发展膜式错流过滤及高效蒸发浓缩, 大型高速碟片离心, 芳香物质分离提纯, 卧螺离心等设备; 4) 在食品冷藏方面, 重点开发钢带速冻, 高效制冰, 真空冷却流态化速冻, 双螺旋速冻等装备; 5) 在食品包装方面, 重点发展高速无菌灌装, 高速吹瓶设备等. 在行业专用装备方面, 重点开发油料加工, 乳制品加工, 畜禽屠宰加工, 粮食加工, 水产品加工, 果蔬加工, 饮料制造, 食品包装及食品检测与控制等装备.

具体来讲: 在油料加工上, 主要以大型油料加工装备为主, 重点发展节能脱臭设备和木本油料加工装备、高温输送泵、高压蒸汽炉、低温脱溶装备的关键技术. 在乳制品加工上, 自动控制和机电一体化对于乳品加工技术的改进和乳品加工效率的提高都具有重要的影响作用, 而且自动控制技术和机电一体化也是未来的发展趋势^[17], 主要以发展大型机械化挤奶系统及牛奶预处理、长货架期酸奶包装、牛奶高速纸包装、大型低温制粉、大型牛奶加工成套(5 000 ~ 10 000 包/h)以及大型干酪生产装备为主. 在畜禽屠宰加工上, 主要发展隧道式蒸汽烫毛机、连续自动去毛、多工位扒皮装备, 家禽自动化掏膛和称量分级装备, 全自动低压高频三点式致昏装备, 畜禽胴体分级装备, 畜禽肉冷却排酸、低温分割装备, 病害畜禽及其产品无害化处理装备, 畜禽胴体激光打码装备, 以及大型真空斩拌、滚揉、全自动定量灌装装备. 在粮食加工上, 主要发展大型双螺杆挤压食

品加工装备, 食品工业化生产装备为主. 在水产品加工上, 以远洋捕捞船载超低温急冻冷藏、鱼类加工、贝类的净化与加工、海藻加工及综合利用、优质名贵水产品的保鲜保活运输装备为主. 在果蔬加工上, 主要以发展果蔬高速商品化处理、果蔬节能干燥、净菜加工、传统菜制品加工、果蔬预冷和冷链配送以及柑橘汁加工装备为主. 在饮料制造上, 主要发展高速砖型包装和高速自立袋灌装封口装备, 超轻 PET 制瓶灌装一体化成套装备, 20 000 瓶/h 以上的无菌或超洁净灌装生产线和饮料后包装生产线, 大型节能糖化装备以及 75 000 瓶/h 高速贴标装备. 在食品包装上, 主要发展高速连续真空(充气)包装设备, 较高黏度食品物料快速灌装设备, 高速模塑环保包装设备, 纸塑料薄膜裹包设备, 高速高精度称重填充设备, 多层复合共挤膜生产线和高阻隔、耐热、耐压性包装材料成型装备, 低碳、环保、抗菌塑料也在食品包装工业中得到广泛应用^[18]. 在食品检测与控制上, 主要发展食品加工的高效节能干燥技术, 高效分离、高效杀菌和高效冷却装备, 农产品品质检测与在线监控装备产业化, 以及方便食品、大宗传统食品加工专用装备和中餐菜肴的成套专用加工装备等的研发.

3.2 食品装备过程控制的发展趋势

为了实现我国食品装备工业的发展目标, 食品装备过程控制技术将呈现以下发展趋势:

1) 过程控制技术的柔性化. 无论何种控制技术都是希望在食品装备和食品工业的生产过程中实现柔性制造, 即通过统一的信息控制系统、物料储运系统和数字控制加工设备, 过程控制系统能快速切换、适应加工对象和加工要求的变换. 未来食品装备过程控制技术的柔性化将集中在机器、工艺、产品、维护、扩展、运行以及生产能力等多个方面.

2) 过程控制技术的对象化. 在食品装备和食品工业的生产中采用多态、继承、封装、抽象的设计思想, 对生产需求进行合理分层, 构建相对独立的模块, 并通过整合各模块, 达到高内聚、低耦合的效果, 从而以高效优化的控制流程完成对生产需求的满足. 这种对象化的控制系统的设计布局将在今后长期存在, 直至计算机软件设计技术有新的跨越.

3) 过程控制技术的智能化. 食品装备的智能化控制技术已经引领了这个工业的发展方向. 智能化控制技术使国内的制造商在生产中重视监控食品机械制造过程的材质、加工精度和配套元器件的质量,

把稳定性和自动化控制始终贯穿于食品装备制造过程,实现了高质量高效率高产量食品加工成套设备的研发与应用,特别是研发食品精深加工设备和有机加工设备。智能化控制技术的发展得益于每项新原理、新技术、新材料、新工艺的应用,也是未来高端食品装备的主要特征。例如,在国外食品装备中有采用光谱图像来检测食品工艺设备中的有机物残留^[19];采用超声波和光学技术实现设备中污垢的在线检测与清洗^[20];采用数字模拟技术对液体食品远红外加热巴氏杀菌过程进行建模优化设计^[21]。

4) 过程控制技术的综合化。大型食品加工成套设备生产线的出现已经预示着控制技术在食品装备工艺的综合化运用。特别是计算机网络技术的发展带动了食品装备向着智能、安全、环保、节能和省材等前沿科技的综合发展。而随着社会节约效应的突显和市场品味的提升,食品装备过程控制技术的综合将越明显。

5) 过程控制技术的标准化。由于食品机械国际标准的趋同化发展,以食品安全卫生为准则来推进的标准化和工业化,也将延伸到食品装备过程控制技术上。这种标准化对食品装备和食品工业生产的全球畅通提供平台,对过程控制中漏洞、误差能做到及时地防范和纠正,也可增强产品、过程和服务的适用性和溯源性。

目前,对我国食品装备工业而言,由于我国食品科技研发投入严重不足,过程控制技术在食品装备上的应用有限,以上“五化”对我国食品装备过程控制将是项任重道远的工作。

参考文献:

- [1] 国家发展改革委,工业和信息化部. 关于印发食品工业“十二五”发展规划的通知[EB/OL]. (2011-12-31)[2012-10-09] <http://www.sdpc.gov.cn/>.
- [2] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国食品安全法[EB/OL]. (2009-02-28)[2012-10-09] <http://www.npc.gov.cn>.
- [3] 姜晔. 浅谈我国食品机械的发展[J]. 农业科技与信息,2011(20):61-62.
- [4] 张国治. 食品加工机械与设备[M]. 北京:中国轻工业出版社,2011:29-32.
- [5] 曹小红. 食品装备发展方向及重点技术[J]. 农产品加工:学刊,2007(5):46-47.
- [6] 刘书成,张常松,张良,等. 罗非鱼片的超临界 CO₂ 干燥动力学及模型[J]. 农业工程学报,2012,28(4):264-268.
- [7] David Semyonov. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics [J]. LWT, 2011, 44(9):1844-1852.
- [8] 梁彦,赵鹏,宋人楷. 冷杀菌技术及其在包装与食品加工机械上的应用[J]. 包装与食品机械,2003,21(2):23-26.
- [9] 许德群,肖衡. 我国包装与食品机械发展现状及趋势[J]. 包装与食品机械,2011(5):47-50.
- [10] 国家发改委产业司课题组. 我国食品工业“十二五”发展战略研究[J]. 经济研究参考,2013,2492(4):3-23.
- [11] 朱雪璇. 工业过程控制自动化中智能控制的应用研究[J]. 无线互联科技,2012(9):121.
- [12] 安爱民. 基于预测控制的先进过程控制技术研究[D]. 甘肃:兰州理工大学,2010.
- [13] 姜琳. 过程控制优化中的智能方法研究[D]. 吉林:吉林大学,2010.
- [14] 牛培峰. 过程控制系统[M]. 北京:电子工业出版社,2011:45-52.
- [15] 陈夕松,张景胜. 过程控制发展综述与教学探讨[J]. 南京工程学院学报:社会科学版,2002,2(1):49-52.
- [16] 凌善康. 食品工业中的过程控制[J]. 计量技术,2002(3):52-54.
- [17] 徐文龙. 自动控制和机电一体化在乳品加工生产中的应用[J]. 科技促进发展:应用版,2012(6):125-126.
- [18] 李毕忠,李泽国,阳文,等. 食品包装技术的最新发展和抗菌塑料的应用[J]. 塑料制造,2012(3):17-22.
- [19] Qin Jianwei, Jun Won, Kim Moon S, et al. Detection of organic residues on food processing equipment surfaces by spectral imaging method [C] // SPIE. Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety II, April 20, 2010. Orlando, Florida. Florida: 2010.
- [20] Withers P M. Ultrasonic, acoustic and optical techniques for the non-invasive detection of fouling in food processing equipment[J]. Trends in Food Science & Technology, 1996(7):293-298.
- [21] Weijie Mao, Yuko Oshima, Youko Yamanaka, Mika Fukuoaka, Noboru Sakai. Mathematical simulation of liquid food pasteurization using far infrared radiation heating equipment [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107(1):127-133.

Present Situation and Development Trend of Process Control in Food Equipment

HUANG Zhi-gang, LIU Ke, LIU Kai, JIANG Yue-peng

(School of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: The process control technology, playing a very important role on product upgrading and energy saving, has been widely used in food equipment. This study introduced the application of process control in food equipment and the latest technology of process control by analyzing the present development situation of food equipment at home and abroad. The development trend of process control in food equipment was presented based on the development aim of food equipment in our country.

Key words: food equipment; process control; development trend

(责任编辑:檀彩莲)

(上接第 47 页)

Changes of Dominant Composition and Organic Acid Profile of *Prunus mume* During Pickling Process

LIN Yao-sheng¹, LIU Xue-ming^{1*}, ZHONG Wei-xiong², CHEN Zhi-yi¹, WANG Si-yuan¹,
YANG Rong-ling¹, YANG Chun-ying¹, ZHAO Xiao-li¹

(1. Sericulture and Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China; 2. Luhe Wei Neng Foodstuff Co., Ltd., Shanwei 516722, China)

Abstract: The changes of main components and organic acid profiles of *Prunus mume* during the pickling process were investigated through the analysis of salt, total acid, and reducing sugar and assay of organic acids in plum pulp and pickling liquid by reverse high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that the salt penetrated to the fruit tissue continuously, and water, sugar, and acid penetrated to the liquid, which became to a dynamic balance during the pickling process of *Prunus mume*. When 300 kg salt was added in every tons of fresh plum for pickling, after about 20 days, the contents of salt, total acid, and reducing sugar in the pulp and pickling liquid reached a balance. The contents of salt, total acid, and reducing sugar in fruit pulp were 24.42%, 5.18%, and 5.31%, respectively, while these parameters in pickling liquid were 27.06%, 4.91% and 4.79%, respectively. The HPLC analysis result showed that the main organic acid in *Prunus mume* was citric acid, followed by malic acid and oxalic acid and a small amount of tartaric acid, lactic acid, acetic acid, and succinic acid was also observed. There were some differences between total acids and organic acids in fruit pulp and pickling fluid during the pickling process. The organic acid profiles of fruits and pickling fluids during the pickling process were relatively stable and could be used as the fingerprints of the quality control for the subsequent processing products.

Key words: *Prunus mume*; pickling fluid; organic acids; total acids; high performance liquid chromatography

(责任编辑:李 宁)