

# 气体射流冲击烘烤甘薯的试验研究

高振江 王德成 吴 薇 张世湘

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

**摘 要** 通过自行研制的试验样机,采用电测技术,对甘薯进行气体射流冲击烘烤的试验研究。试验参数为:喷嘴气体温度 150 ℃,出口气体速度 15 m·s<sup>-1</sup>,甘薯直径约 60 mm。试验过程中,当甘薯温度低于 70 ℃时,其温度以 3~4 ℃·min<sup>-1</sup>的速度升高;温度在 70~95 ℃时,升温速度为 1~2 ℃·min<sup>-1</sup>,其中当温度为 80 ℃时,甘薯的理化指标发生变化,硬度变软,香味溢出;当甘薯上部温度达到 95 ℃时,其温度不再升高;当甘薯中心温度达到 90 ℃时,甘薯完全熟化。总烘烤时间为 33 min;甘薯在烘烤过程中,含水量损失为总质量的 15%~20%(湿基);烤制成本为 0.4~0.5 kW·h·kg<sup>-1</sup>。

**关键词** 射流冲击;烘烤;甘薯

**中图分类号** TS 203; S 377

**文章编号** 1007-4333(2003)02-0055-03

**文献标识码** A

## Experimental research on roasting sweet potato with air-impingement technique

Gao Zhenjiang, Wang Decheng, Wu Wei, Zhang Shixiang

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** With special electric equipment, sweet potato which would absorb a large quantity of heat during roasting was tested as a sample using the air-impingement equipment. As the temperature and velocity of ejecting air of the nozzle were 150 ℃ and 15 m·s<sup>-1</sup> respectively, the results showed that when the temperature of sweet potato was below 70 ℃, it heated up the sweet potato at the rate of 3~4 ℃·min<sup>-1</sup>, and when the temperature was 70~95 ℃, it heated up the sweet potato at the rate of 1~2 ℃·min<sup>-1</sup>. As the temperature of sweet potato reached 80 ℃, its physical and chemical characteristics would be changed, the rigidity was mild and odor was overflowed. As the temperature of sweet potato reached 95 ℃, its temperature no longer raise up with the air temperature. The central temperature would be 90 ℃ if a best roasting effect was expected. The roasting time of sweet potato was 33 minutes, and the cost was 0.4~0.5 kW·h·kg<sup>-1</sup>.

**Key words** air-impingement; roast; sweet potato

烤甘薯是人们喜食的一种传统食品。烤制的甘薯质感柔软、风味独特<sup>[1]</sup>,但甘薯质量较大,其主要成分是水 and 淀粉,属导热系数较低且热容量大的物料,一般的烘烤设备对其加工较难,目前大都采用碳火直接烤制的方式。碳火烤制存在的问题是:碳在燃烧过程中会对产品及环境造成污染;碳火对甘薯的辐射传热量与碳火到甘薯的距离的平方成反比<sup>[2]</sup>,烤制过程中易造成物料受热不均的现象,特

别是背对热源的物料部分,烤制过程中加热困难,而近热源部分局部温度过高,会产生外焦内生现象。

为了克服传统烤制方法存在的问题,同时利于烤甘薯的机械化加工,笔者进行了气体射流冲击烘烤甘薯方法与设备的研究。用气体射流冲击技术进行甘薯烘烤,不仅烤制后的产品质构柔软,气味芳香,色泽均匀,风味与传统方法烤制的相同,而且无任何污染,更为重要的是可使烤制过程实现机械化

收稿日期:2002-06-29

基金项目:北京市科委项目(200100105)

作者简介:高振江,博士,教授,主要从事农产品干燥与烘焙新技术与装备方面的研究。

通讯作者:吴 薇,硕士。

流水作业。

该设备的研制和开发可为大中城市、旅游景点提供一种安全、方便、洁净无污染的快餐食品加工技术与设备。

## 1 试验物料、装置与方法

### 1.1 试验物料

甘薯为市场上购置的普通红瓢甘薯,直径 60~80 mm,质量 400~500 g,含水率(w. b.) 75%。

### 1.2 试验装置

试验装置<sup>[3]</sup>由 3 部分组成:计算机控制系统、数据采集系统和烘烤装置。

计算机控制系统。整个控制系统采用自编软件并结合相应的执行机构进行温度与风机的控制。根据加工甘薯的需求,该系统具有以下功能:监测和控制射流冲击气体的温度;监测和控制气流冲击甘薯后的排气温度;监测被加热甘薯的温度,可同时监测甘薯不同部位的温度变化情况;采集的温度数据通过数模电路,将模拟信号转换为数字信号输入计算机监测与控制系统,可在计算机中直接显示与存储,也可根据要求显示和存储某一时刻各采集点的平均温度。

数据采集系统。温度采集传感器有 9 个,其中:4 个用于监测加工过程中冲击室内不同位置的温度,传感器测量精度为  $\pm 0.5$ ,探头直径为 3 mm;3 个用于监测甘薯的温度,测量甘薯不同位置在加热过程中的温度变化;2 个用于加工过程的外部环境温度测量,测量精度  $\pm 1$ ,探头直径 1 mm。

烘烤装置。主要包括风机、电加热器、气流分配室、气流输送管路和气流冲击室等(图 1)。甘薯在气流冲击室中烘烤,其上部受气体直接冲击,下部则受底板反射气体而加热。

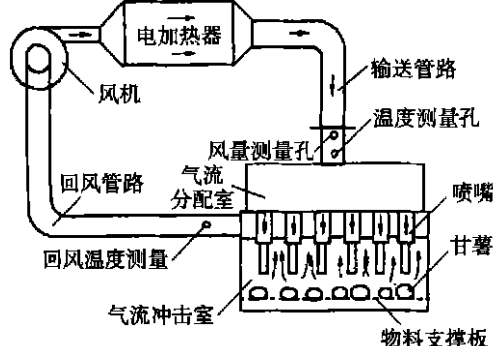


图 1 射流冲击烘烤装置

Fig. 1 Air-impingement roasting equipment

### 1.3 试验方法

试验时,喷嘴出口气体温度 150,气体速度  $15 \text{ m s}^{-1}$ 。首先将烘烤室内的气体温度加热至所需温度 150,然后称取清洗好的试验甘薯约 1 kg,随机抽取一甘薯,将 3 个温度传感器分别插入上、中、下不同位置,将其放入气流冲击室中,测出其相应部位的温度变化(图 2)。取样甘薯物料直径为 60 mm。

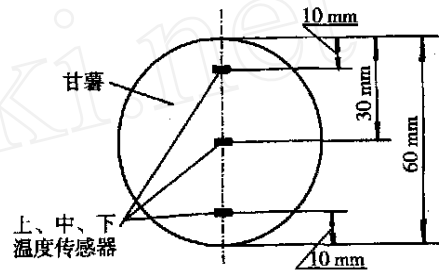


图 2 传感器在甘薯中的位置

Fig. 2 The location of sensors in sweet potato

## 2 试验结果与讨论

图 3 为射流冲击烘烤过程中射流冲击气体温度和甘薯不同位置温度随时间的变化情况。可见当甘薯放入冲击室后,射流冲击气体温度有一个升温过程,在 6 min 之后气体温度达到 150,这是因为加热气体是循环利用的,甘薯放入冲击室后,其表面与冲击气体的瞬时换热量过大,而加热器功率有限,从而出现了温升滞后的现象。

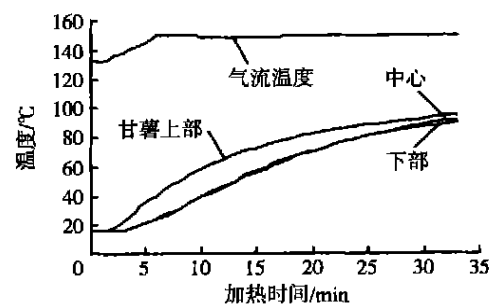


图 3 气流温度和甘薯不同部位温度与烘烤时间的关系

Fig. 3 The relationship between the air temperature and potato temperature in different position vs roasting time

当射流冲击气体对甘薯表面进行冲击时,由于对甘薯上下部的加热方式不同,造成对流换热系数不等,因而上下部甘薯的温度变化也不同。由图 3 可见,甘薯上部传感器在烘烤 2 min 后开始升温,下部和中心处传感器同在 3 min 后开始升温。由傅立叶(Fourier)定律可知,甘薯中心的热量是由较高温

度的上部经传导传热而来,下部对甘薯中心热量的获得没有影响。

根据甘薯各部位温度随时间的变化和甘薯理化指标随甘薯温度的变化情况,气体射流冲击烘烤甘薯可分为2个阶段。

第1阶段为甘薯温度迅速上升阶段。当甘薯温度低于70℃时,在喷射气体的冲击下,其温度以3~4℃·min<sup>-1</sup>的速度升高,加热时间约20min。

第2阶段为甘薯的熟化阶段。当甘薯温度在70~95℃之间时,其升温速度此时保持在1~2℃·min<sup>-1</sup>,加热时间约15min。从80℃开始,甘薯的质地由硬变软,烤制甘薯的特有气味已溢出<sup>[4,5]</sup>,这表明甘薯的理化指标发生了变化。当甘薯上部温度达到95℃时,其温度不再升高。

当甘薯的中心温度达到90℃时,甘薯从口感上已完全熟化,适口性达到了最佳的程度,产品色泽均匀,质构柔软,气味芳香,而且甘薯的外皮与内瓢之间形成了一个蒸汽层,食用时外皮极易剥落。

甘薯熟化后,称其质量,计算其含水量损失为总质量的15%~20%。

### 3 结 论

采用气体射流冲击技术,喷嘴气体温度150℃,气体速度15m·s<sup>-1</sup>,进行烘烤甘薯试验。甘薯的熟化过程如下:当甘薯温度低于70℃时,甘薯获取的能量主要表现为温度的不断升高,此时升温速度为

3~4℃·min<sup>-1</sup>;当甘薯温度在70~95℃之间时,甘薯吸收的能量主要表现为甘薯结构和成分的变化,此时甘薯温度以1~2℃·min<sup>-1</sup>的速度升高,其中,当温度达到80℃时,甘薯的理化指标发生变化,硬度变软,气味溢出。

当甘薯上部温度达到95℃时,其温度不再随加热介质的温度而升高。

当甘薯中心温度达到90℃时,甘薯完全熟化,整个甘薯质构柔软,色泽均匀,气味芳香,外皮与内瓢分离。

甘薯在烘烤过程中,含水量损失为总质量的15%~20%(湿基)。

直径60mm的甘薯,烘烤时间约为33min。加工成本为0.4~0.5kW·h·kg<sup>-1</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] 秦波涛,李和平,王晓曦.薯类加工[M].北京:中国轻工业出版社,2001.8~13
- [2] 高福成,王海欧,郑建仙,等.现代食品工程新技术[M].北京:中国轻工业出版社,1997.103~129
- [3] 高振江.气体射流冲击颗粒物料干燥机理与参数实验研究[D].北京:中国农业大学,2000
- [4] 菲尼马 O R.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,1991.487~522
- [5] 惠斯特勒 R J,贝密勒 J N,斯卡帕尔 E F.淀粉的化学与工艺学[M].北京:中国食品出版社,1987.337~341