

刘 轲, 刘建华, 李 方, 等. 豆薯片热风干燥动力学研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 227–229.

豆薯片热风干燥动力学研究

刘 轲¹, 刘建华¹, 李 方¹, 赵林杰¹, 卫 星¹, 包春菊¹, 张志健^{1,2}

(1. 陕西理工学院生物科学与工程学院, 陕西汉中 723000; 2. 陕西省黑色有机食品工程技术研究中心, 陕西汉中 723000)

摘要: 研究豆薯片在热风干燥过程中水分、温度、干燥速率的变化规律, 并建立水分变化规律回归方程。结果表明, 豆薯片的热风干燥过程可分为预热期、恒速干燥期和降速干燥期 3 个阶段; 升高干燥温度和增大风量, 均会使干燥速率增大, 恒速干燥期缩短, 降速期干燥速率下降加快, 升高干燥温度, 还会使豆薯片第一临界含水量增大; 加大风量, 会使干燥初期豆薯片温度较加大风量前有所降低, 而在干燥后期豆薯片温度有所升高。豆薯片热风干燥水分变化曲线回归方程为: $y = ax^2 + bx + c$, 其中, y 为豆薯片干基含水量 (kg/kg), x 为干燥时间 ($\times 5$ min), c 为豆薯片初含水量 (kg/kg)。

关键词: 豆薯片; 热风干燥; 动力学; 温度; 含水量; 干燥速率

中图分类号: TS215; TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2014)01–0227–03

豆薯别名凉薯、地瓜、沙葛、土瓜等, 属豆科蝶形花亚科 (Papilionaceae) 豆薯属 (*Pachyrhizus*) 缠绕性或直立草本植物, 具有肉质块根, 原产热带美洲, 全球共有 6 种, 我国东南部至西南部引入栽培有 1 种^[1]。中国长江以南普遍栽培, 以贵州、四川、湖南、广东、广西、陕南和台湾等地生产较多。豆薯食用部分为肥大的块根, 富含淀粉、糖分、蛋白质及矿质元素, 老熟块根中淀粉含量较高, 可提制淀粉作为食品添加剂使用^[2]。种子及茎叶中含鱼藤酮 ($C_{23}H_{22}O_6$), 对人畜有剧毒, 可制成敌敌畏等杀虫剂^[3]。目前, 我国豆薯加工水平还比较落后, 70% 以上的豆薯作为蔬菜鲜食, 年加工消化率仅在 25% 左右, 目前研究开发的豆薯加工产品主要有豆薯脯^[4]、豆薯蜜饯^[5]、豆薯罐头^[6]、豆薯果冻^[7]、豆薯汁饮料^[8–11]、豆薯酒^[12]、豆薯粉等一些粗加工产品。有关豆薯的工业化深加工产品在国内市场上尚未见到。笔者以陕西汉中产的豆薯为原料, 研究了豆薯片热风干燥动力学变化规律, 旨在为豆薯片热风干燥工艺和设备的开发或选择提供理论依据, 为豆薯食品加工提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

豆薯: 产于陕西汉中。

电热鼓风干燥箱 DHG–9055A (上海一恒科技有限公司); 电子天平 AL–6051 (梅特勒–托利多仪器上海有限公司); 遥测温度计、热风机等。

收稿日期: 2013–04–25

基金项目: 2012 年地方高校国家级大学生创新创业训练计划 (编号: 201210720009); 2012 年度陕西省教育厅科研计划 (编号: 12JK0819); 陕西理工学院大学生创新创业训练 (编号: UIRP122062)。

作者简介: 刘 轲 (1989–), 男, 陕西延安人, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与资源开发。E–mail: 13891662131@163.com。

通信作者: 张志健, 教授, 硕士生导师, 研究方向为食品科学与资源开发。E–mail: 969775452@qq.com。

1.2 试验方法

鲜豆薯经清洗去皮后, 切成 2 mm 厚的薄片, 称重后置于干燥箱网盘上, 在一定温度 (试验取箱温为 70、80、90、100、110、120 °C)、一定通风量下进行恒温干燥, 每隔 5 min 称重或读取豆薯片温度值 1 次, 直至豆薯片趋于恒重。

干燥速率通常定义为: 单位时间内单位干燥面积上的水分蒸发量, 单位 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[13]。由于豆薯片干燥面积难以准确测量, 故本研究将干燥速率定义为: 单位时间内单位质量物料所蒸发的水分量, 单位 $\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{s})$, 物料质量采用测定点豆薯片的总质量, 即平衡质量^[14]。干燥速率曲线通常是指物料干燥速率与物料干基含水量的关系曲线^[13]。由于在干燥过程中, 物料干基含水量随干燥时间而变, 且成对应关系, 故为方便比较, 本研究给出的是物料干燥速率与干燥时间的关系曲线^[14]。

2 结果与分析

2.1 豆薯片热风干燥水分变化规律与拟合方程

各试验温度下豆薯片干基含水量随时间的变化规律如图 1 所示。从图 1 可以看出, 在干燥前期, 干燥曲线几乎呈直线下降趋势, 其斜率即为豆薯片干燥速率, 而干燥后期干燥曲线则呈缓慢下降趋势, 直至趋于水平, 说明豆薯片干燥具有较明显的恒速期和降速期。同时可以看出, 随着温度升高, 干燥曲线变陡, 斜率绝对值增大, 说明豆薯片水分含量降低的速率加快, 恒速干燥速率增大, 干燥时间缩短, 但在整个干燥过程中, 90 °C 和 100 °C 之间的差异不大; 在前 30 min 内, 90、100、110 °C 三者的差异不大, 30 min 后, 110 °C 下豆薯片水分含量降低的速率明显快于 90 °C 和 100 °C。

从图 1 还可以看出, 各温度下的干燥曲线特征类似于二次曲线, 因此, 用 Excel 多项式工具可绘出各干燥曲线的趋势曲线, 如图 2 至图 7 所示。可以看出, 在试验温度下, 拟合曲线与试验曲线具有较好的吻合性, 且干燥温度越高, 吻合程度也越高。各试验温度下的拟合方程和 r^2 值如表 1 所示。

2.2 热风干燥豆薯片温度变化规律

豆薯片在不同温度下干燥时片温变化情况如图 8 所示。

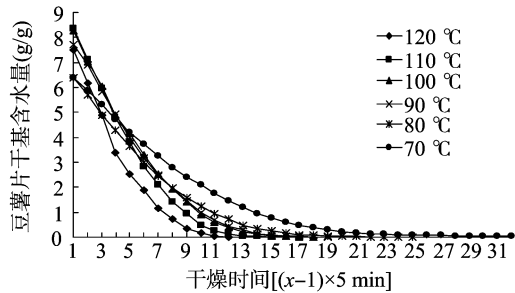


图1 不同温度下豆薯片干燥曲线

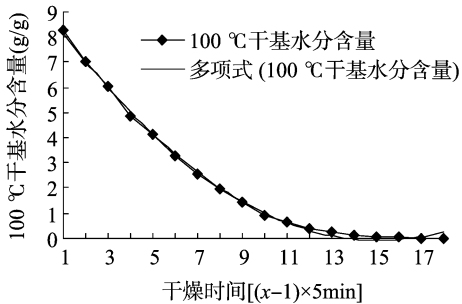


图5 100 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

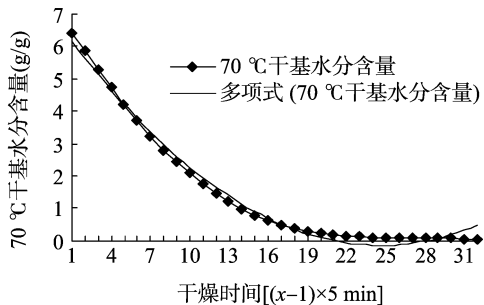


图2 70 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

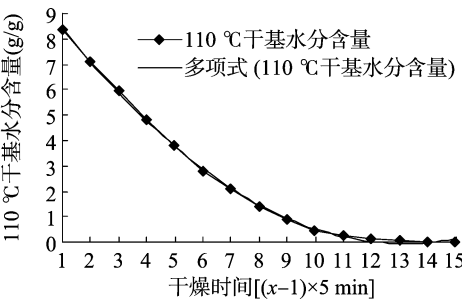


图6 110 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

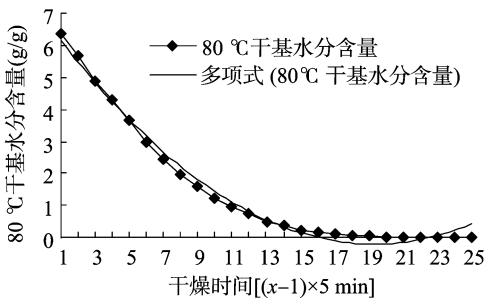


图3 80 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

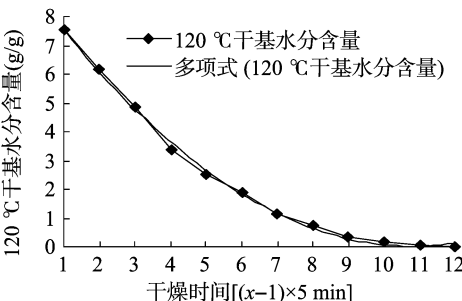


图7 120 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

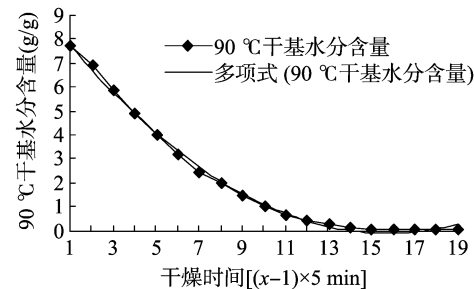


图4 90 °C 豆薯片干燥曲线与拟合趋势线

表 1 豆薯片干燥曲线拟合方程与 r^2 值

序号	温度 (°C)	拟合方程	r^2
1	120	$y = 0.0777x^2 - 1.6822x + 9.1228$	0.9980
2	110	$y = 0.0571x^2 - 1.5067x + 9.8838$	0.9994
3	100	$y = 0.0414x^2 - 1.2506x + 9.3649$	0.9983
4	90	$y = 0.0363x^2 - 1.141x + 8.8525$	0.9975
5	80	$y = 0.0190x^2 - 0.7330x + 6.8672$	0.9911
6	70	$y = 0.0114x^2 - 0.5594x + 6.7209$	0.9913

由图 8 可以看出,豆薯片在试验温度下干燥时,豆薯片温度变化规律表现为:先经过一段快速升温期,再经过一段恒温期(即恒速干燥期),然后是一段升温期(即降速干燥期);且箱温越高,片温也越高,恒温期及整个干燥周期越短,但片温远低于箱温,如当箱温在 100 ~ 120 °C 时,片温只在 60 °C 左右。

2.3 豆薯片热风干燥速率变化趋势

图 9 和图 10 为豆薯片在不同温度下的干燥速率曲线。可

以看出,干燥温度对干燥速率变化具有明显的影响,并表现出一定的规律性,即随着干燥温度的升高,干燥速率增大,但恒速干燥期缩短,降速干燥速率下降加快(曲线变陡)。分析认为,随着干燥温度的升高,豆薯片表面水分蒸发速率加快,并在相对较短的时间内超过内部水分向外转移的速率,使豆薯片表面开始干枯,从而导致上述结果。

比较图 9 和图 10 可以看出,风量大小对干燥速率也有重要影响,且干燥温度越高,风量对干燥速率的影响越显著。在

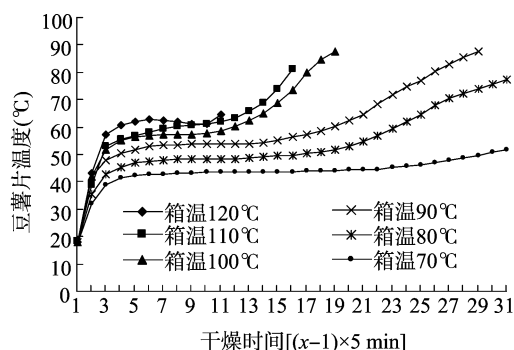


图8 不同干燥温度下豆薯片温度变化曲线

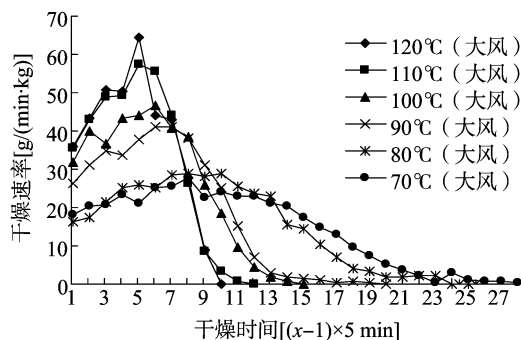


图9 大风量时豆薯片干燥速率曲线

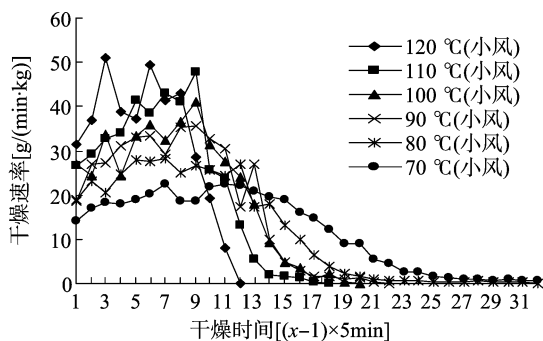


图10 小风量时豆薯片干燥速率曲线

干燥温度为 70 ~ 80 °C 时,风量几乎对干燥速率无影响,而在干燥温度为 110 °C 和 120 °C 时,大风量下两者的干燥速率不仅显著增大,且十分相近。

综合干燥过程豆薯片水分的变化(图 1)和豆薯片温度的变化(图 8),豆薯片热风干燥的适宜条件为 110 °C、大风量。

3 结论

豆薯片热风干燥过程具有明显的预热期、恒速干燥期和降速干燥期,且恒速干燥期相对较长。

豆薯片热风干燥水分变化曲线的回归方程式为: $y = ax^2 + bx + c$; y 为豆薯片干基含水量 (kg/kg), x 为干燥时间 ($\times 5$ min), c 为豆薯片初含水量 (kg/kg)。

在 70 ~ 120 °C 温度范围内,温度越高、风量越大,豆薯片干燥速度越大,干燥时间越短;豆薯片适宜干燥条件为: 110 °C、大风量,在此条件下干燥,恒速干燥期豆薯片的温度在 60 °C 左右,不会出现焦化现象,且褐变程度较低,干片色泽较好。

影响豆薯干燥曲线的因素较多,如豆薯的种类、产地和年龄(水分及其他成分有差异),豆薯片厚度,干燥介质的流量及流动方式、温度和湿度等。本试验仅研究了温度和风量 2 个因素的影响,因此,所总结出的干燥动力学规律还需进一步完善。

参考文献:

- [1] 中国科学院植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十一卷[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 212 - 213.
- [2] Fernandez M V, Warid A, Loaiza J M, et al. Developmental patterns of jicama [*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban] plant and the chemical constituents of roots grown in Sonora, Mexico[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1997, 50: 279 - 286.
- [3] 豆薯[EB/OL]. [2013 - 04 - 22]. <http://www.zd9999.com/zw/detail.asp?id=265>.
- [4] 李彦坡, 麻成金, 黄群. 低糖凉薯果脯的研制[J]. 现代食品科技, 2006, 22(2): 176 - 178.
- [5] 齐凯岑, 龚宜华, 卢震邈, 等. 一种果蔬蜜钱真空蜜炼工艺: 中华人民共和国, CN91109416. 4[P]. 1991 - 11 - 19.
- [6] 赵静, 冯叙桥. 糖水豆薯罐头生产技术[J]. 食品科学, 1992, 12(10): 59 - 60.
- [7] 张晓玲, 黄白红. 豆薯汁果冻的加工工艺研究[J]. 吉林蔬菜, 2010(2): 87 - 88.
- [8] 麻成金. 地瓜原汁饮料生产工艺的研究[J]. 食品工业科技, 1994, 25(3): 24 - 27.
- [9] 黄群, 麻成金, 余估, 等. 凉薯乳饮料生产工艺及其稳定性研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 716 - 718.
- [10] 傅伟昌, 成红巧, 麻成金. 凉薯汁饮料生产工艺及经济效益分析[J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 1996, 17(4): 73 - 75.
- [11] 麻成金, 李加兴, 姚茂君. 纯天然复合凉薯汁饮料的研究[J]. 软饮料工业, 1996(3): 21 - 22, 34.
- [12] 秦捷. 凉薯酒生产工艺的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [13] 冯龢. 食品工程原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 539.
- [14] 张志健, 耿敬章, 孙海燕, 等. 魔芋片热风对流干燥动力学研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 457 - 459.