

# 柿子热泵干制实验 及其干制模型的研究

李 骅, 尹文庆

(南京农业大学工学院, 江苏南京 210031)

**摘要:** 为了缩短柿子的干制时间, 同时保持良好的干制品质, 采用热泵干制技术, 对柿子进行了干制实验。实验中改变干制介质的温度和湿度, 分别研究了它们对重量比、湿度比和干制速度的影响规律, 选用三种常用的干制模型, 通过回归计算和比较分析, 认为模型能较好地反映柿子在热泵干制过程中湿度比随时间的变化规律。

**关键词:** 柿子, 热泵干制, 干制模型

**Abstract:** In order to reduce the drying time and improve the drying quality in persimmon drying process, changing the air temperature and humidity, the experiments of persimmon drying were carried out with heat pump. The influences of the air temperature and humidity on weight rate, moisture content rate and drying speed were analyzed. Selecting three type mathematics model and conducting regression analysis, it is obtained that model can better estimate the moisture content rate at different drying time in persimmon heat pump drying process.

**Key words:** persimmon; heat pump drying; drying model

中图分类号: TS255.3 文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2007)07-0057-03

柿子是我国特产果品之一, 含有丰富的维生素 C、葡萄糖、果糖、钙、磷、铁等物质, 被人们誉为“果中圣品”。柿子既能生食, 又能熟食, 可加工成柿饼、柿糕、柿干、柿面等产品。传统的柿饼制作为小作坊手工操作, 其工艺流程一般为: 鲜柿 去皮 上架 晾晒 捏饼 晾晒 捏饼(重复多次) 薰硫 贮藏。该工艺受天气影响极大, 生产效率低, 制作周期长; 在露天晾晒的过程中, 柿饼易受细菌和灰尘的污染, 并发生氧化变成褐色。为了满足柿饼工业化大批量生产的要求, 就必须缩短生产周期, 用科学合理的脱水干制方法取代传统的晒饼工艺。因此, 脱水干制是柿饼制作的关键工艺, 采用烘烤房热风干制柿子是目前常用的方法之一。本文尝试用热泵来干制柿子, 实验研究了柿子

干制过程中温度和湿度对含水量的影响规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

柿子 南京地产。

热泵干燥实验系统 自制。

### 1.2 实验方法

在柿子收获期, 购买新鲜的柿子若干, 放入冰箱贮藏, 将柿子分为若干组, 使每组柿子的重量、色泽、形状相近。干制实验时取出柿子并清洗, 摘除萼片和果柄, 削去果皮, 然后放入干制室内, 设定干制温度, 进行干制, 每隔一段时间对柿子进行整形, 即捏成饼状, 直到干制过程结束。改变干制温度, 重复以上实验过程。

## 2 结果与分析

实验前先测定柿子的初始含水率, 即随机取出若干柿子, 放入烘箱中, 在 105℃ 干燥完全脱水, 测得初始料重  $W_0$  及完全脱水后的料重  $W_d$ , 计算得初始湿基含水率  $M_0$  为 83%、干基含水率为 498%。用重量比、湿度比(水分比)和干制速率等指标评价柿子的干制特性, 其计算分别如下:

由于每次实验时, 干制物料的重量不一致, 为了便于比较, 按下式计算重量比

$$W_r = \frac{W_t}{W_0} \quad (\%)$$

式中  $W_t$  是  $t$  时间的物料重量。

湿度比(水分比)的计算公式如下:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{W_t - W_e}{W_0 - W_e} \quad (\%)$$

式中  $M_t$  是  $t$  时间物料的含水量,  $M_e$  是物料的平衡含水量,  $W_e$  是在平衡含水量时的物料重量, 计算时用  $W_d$  代替。干制速率可按下式计算:

$$U = \frac{\Delta W / W_d}{\Delta t} \quad (\%/min)$$

式中  $\Delta W$  是时间间隔  $\Delta t$  内物料重量的变化。

实验中取干制温度分别为 35、40、45、48℃, 在干制温度 45℃ 时, 改变气流湿度和气流速度, 实验后通

收稿日期: 2006-09-11

作者简介: 李骅(1972-), 男, 讲师, 在职博士生, 主要从事农产品加工与农业机械的研究。

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2002112)。

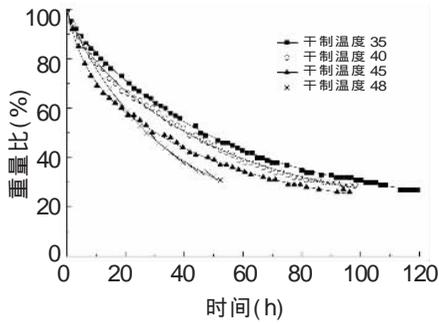


图1 干制温度对重量比的影响

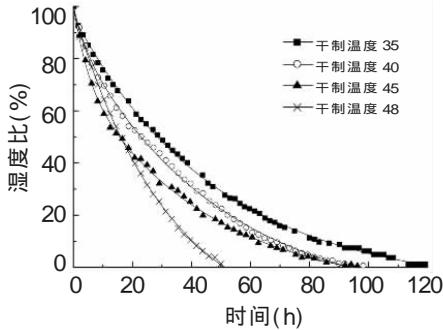


图2 干制温度对湿度比的影响

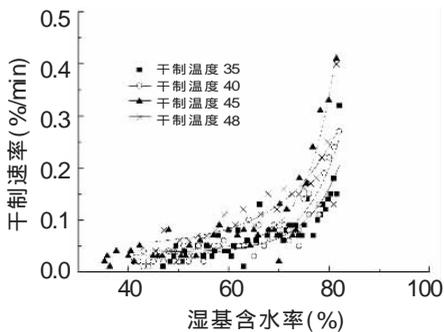


图3 干制温度对干制速率的影响

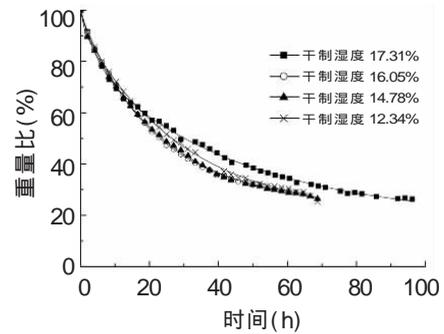


图4 干制湿度对重量比的影响

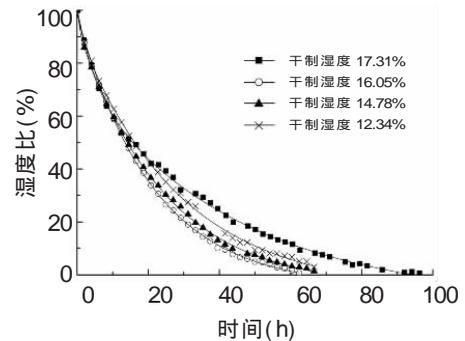


图5 干制湿度对湿度比的影响

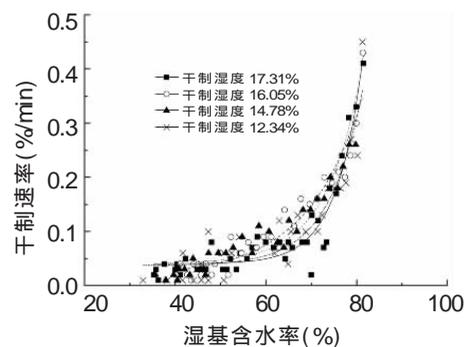


图6 干制湿度对干制速率的影响

过计算,得到重量比、湿度比和干制速率曲线分别如图1-图6。

由图1-图6可以看出,随着干制时间的增加,柿子的重量比和湿度比均呈类似于指数曲线的规律下降。在干制的初期,曲线的斜率大,单位时间柿子的重量变化大;在干制的中期,重量比和湿度比下降趋于平稳并缓慢下降;在干制的后期,曲线的斜率几乎为零。

对于干制速度,在干制初期,柿子的含水量大,容易移走柿子表层的水分,干制速率很快达到最大值,即为升速阶段。随后表现为降速阶段,而在降速阶段有明显的急剧降速和缓慢降速两个阶段,且持续时间长。在图3和图6中并未观测到恒速阶段,这

说明柿子在干制过程中,表面容易形成阻隔层,柿子内部水分向表面迁移困难,这是需要进一步研究的问题。

显然,提高干制温度和降低干制湿度可以提高干制速率,减少干制时间,但当干制湿度低于15%时,干制湿度对干制速率的影响不明显。

### 3 柿子热泵干制的数学模型

为了定量地描述柿子热泵干制的过程,可选用数学模型来表达柿子干制的湿度比曲线,本文采用常用的三种干制数学模型:指数模型、单项扩散模型和Page方程,见表1。

运用回归分析方法,将三种数学模型分别用实

表1 三种干制模型

序号	模型名称	方程	
1	指数模型	$MR = \exp(-kt)$	k 为干燥常数
2	单项扩散模型	$MR = A \exp(-kt)$	A、k 均为干燥常数
3	Page 方程	$MR = \exp(-kt^N)$	k、N 均为干燥常数

表 2 回归参数

温度( )	模型 1 $MR=\exp(-kt)$		模型 2 $MR=A \exp(-kt)$		模型 3 $MR=\exp(-kt^N)$	
	参数值	误差	参数值	误差	参数值	误差
35	$k=0.02554$	0.00025	$k=0.02538$	0.00035	$k=0.0211$	0.0138
	$R^2=0.99408$		$A=0.99392$	0.00885	$N=1.04925$	0.01694
40	$k=0.03154$	0.00048	$k=0.03114$	0.00066	$k=0.02797$	0.00279
	$R^2=0.98908$		$A=0.9873$	0.01393	$N=1.0328$	0.01245
45	$k=0.03889$	0.00079	$k=0.03559$	0.00078	$k=0.03544$	0.00463
	$R^2=0.98052$		$A=0.91961$	0.01333	$N=0.85043$	0.02016
48	$k=0.04817$	0.00134	$k=0.04987$	0.00182	$k=0.02555$	0.00332
	$R^2=0.98098$		$A=1.03419$	0.02374	$N=1.20082$	0.04109

验数据代入,得到相应的模型参数,见表 2。

由表 2 可知,三种模型的  $R^2$  值均大于 0.98,将三种模型的  $R^2$  值进行比较,模型 3 的  $R^2$  值最大。运用模型 3 进行预测并与实验值进行比较(图 7),表明预测值与实验值具有较好的一致性。将模型中的参数  $k$ 、 $N$  与温度  $T$  进行回归计算,可得模型参数  $k$ 、 $N$  与温度的回归方程分别为: $N=0.0035T+0.8851$ 、 $k=0.0006T+0.0035$ 。

#### 4 结论

由柿子热泵干制实验及结果分析,得出如下结论:

4.1 从实验数据可以看出,利用热泵来制作柿饼是完全可行的,而且缩短了干制时间。

4.2 随着干制温度的提高,干制速度加快,因此提高温度可以提高对柿子的干制能力,减少干制时间。在干制初期,干制速率不断地增大,随着干制过程的进行,干制速率增加到某一数值后,则开始减少,直到干制过程结束。

4.3 通过对三种干制数学模型的比较,模型  $MR=\exp(-kt^N)$  能较好地反映柿子在热泵干制过程中湿度比随时间的变化规律。

#### 参考文献:

- [1] 张海生, 陈锦屏. 柿饼加工工艺的研究 [J]. 农产品加工, 2004(4): 38-39.
- [2] 王书民, 张国春. 柿子加工技术 [J]. 商洛师范专科学校学报, 2004, 18(2): 43-45.
- [3] 费学谦, 王劲风, 等. 甘、涩柿果实主要化学成份的研究 [J]. 林业科学学报, 1994, 7(1): 106-110.
- [4] 刘冬, 李世敏, 张家年. 柿饼加工新工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2001, 22(2): 47-49.
- [5] 刘素芳. 用电热干燥法加工有机柿饼的技术 [J]. 落叶果树, 2005(3): 31-32.

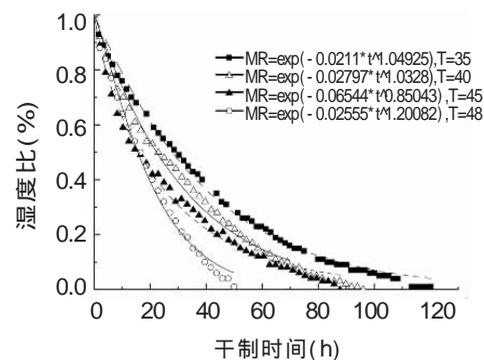


图 7 柿子干制模型曲线与实验数据的对比

## 广州市品尼高食品添加剂有限公司

广州市品尼高食品添加剂有限公司系中山大学科技开发公司食品添加剂开发部转制而成,它拥有一支高素质、集科研、管理、销售队伍,依托中山大学雄厚的技术力量,专门从事食品添加剂系列研究、开发、生产等业务。

公司坚持“高品质”研制原则,把开发高技术含量和生产高品质产品作为公司发展主旨,坚持“诚信、创新、品质高”的经营理念,以满足客户的满意为永恒追求目标。在品质管理上通过执行 ISO9001 质量管理体系认证标准。产品质量均达到国际或国家标准,并且得到中国人民保险公司承保,实现了产品质量保证的双保险。

#### 主要成果:

山梨酸钾、脱氢醋酸钠、二氧化硫清除剂、尼泊金酯类、特效防腐剂 DHANA、脱氧保鲜剂(新型)、无硫高效漂白剂、肉类漂白素、米粉专用漂白剂、腐竹专用漂白剂、茶叶保鲜剂、各类干燥剂、鱼类改良剂、鱼类保鲜剂等。

地址: 广州市白云区大朗五社同兴工业区 B13 栋

电话: 020-61117776 61117777 86072614 84039458 传真: 020-61117779