

# 苹果片热泵干燥工艺试验研究

张海红, 刘贵珊 (宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

**摘要** [目的]优化利用自制热泵干燥设备干燥苹果片的工艺参数。[方法]利用自制热泵干燥设备将苹果片脱水干燥,通过单因素试验和3因素3水平正交试验探讨了干燥介质温度、装料量和切片厚度对干燥速率及能耗的影响。[结果]在30~40℃下,在相同的干燥时间内,随着干燥介质温度的升高,干燥速率明显加快。装料量为1~2 kg/m<sup>2</sup>时,随着装料量的增加,干燥时间明显增加,干燥速率明显降低。在3~5 mm的厚度范围内,随着切片厚度的增加,干燥时间明显增加,干燥速率明显降低。方差分析表明,干燥介质温度和装料量是干燥速率的主要影响因素。多重比较结果表明,最优工艺组合为:干燥介质温度为30℃,装料量为15 kg,切片厚度为3、4或5 mm。[结论]热泵干燥工艺提高了干燥效率,减少了能耗。

**关键词** 苹果片; 热泵干燥; 工艺

**中图分类号** TS205.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)31-15414-03

## Experimental Study on the Heatpump Drying Technology of Apple Slices

ZHANG Hai-hong et al (Agricultural College of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** [Objective] The purpose of the study was to optimize the technological parameters of drying apple slices with self-made heat-pump drying equipment. [Method] The apple slices were dehydrated and dried with self-made heat-pump drying equipment, the influences of the temperature of drying medium, forced filling rate and slice thickness on drying rate and power consumption were discussed through single factor experiments and 3-factor and 3-level orthogonal test. [Result] Under 30~40℃, in the same drying time, as the temperature of drying medium was increased, the drying rate was accelerated obviously. When the forced filling rate was 1~2 kg/m<sup>2</sup>, as the forced filling rate was increased, the drying time was increased and the drying rate was decreased obviously. In the thickness range of 3-5 mm, as the slice thickness was increased, the drying time was increased and the drying rate was decreased obviously. The variance analysis showed that the temperature of drying medium and forced filling rate were the main influencing factors of drying rate. The results of multiple comparison indicated that the optimum technological combination was as follows: the temperature of drying medium was 30℃, the forced filling rate was 15 kg and the slice thickness was 3, 4 or 5 mm. [Conclusion] The heat-pump drying technology enhanced drying efficiency and reduced power consumption.

**Key words** Apple slice; Heat-pump drying; Technology

苹果片由于食用和储运方便,营养丰富,成为深受人们喜爱的一种休闲食品。采用热泵干燥苹果片,具有节能高效、操作温度低、产品质量高的特点。热泵干燥是以含水量低而温度不高的空气作为载体对物料进行干燥,既通过压缩制冷技术得到相对湿度30%左右的干燥气流,在30~60℃进行物料干燥<sup>[1-2]</sup>。利用自行研制的热泵干燥设备,对苹果片进行热泵干燥试验。以验证设备的可用性,并通过正交试验探讨最佳工艺参数。

### 1 试验材料与方法

**1.1 试验装置** ①自行研制的果蔬热泵干燥设备,配备计算机自动控制系统。其干燥室内不同部位装设多个温度、湿度、风速传感器,可随时显示记录干燥介质的温度、湿度、风速。冷凝水引出处设有重量传感器,每隔5 min采集、记录除水量,以便计算水分去除率。配备功率表,实时检测热泵干燥设备的能耗<sup>[3]</sup>。②101-2型电热鼓风干燥箱(上海实验仪器厂有限公司);③T-200型电子分析天平(常熟双杰测试仪器厂)。

**1.2 试验材料** 选择成熟、新鲜、无霉烂和无病虫害的横径在60 mm以上的黄元帅苹果。

**1.3 苹果片干燥工艺流程** 原料选择—清洗—去心—切片—热烫—沥水—干燥—成品

**1.4 试验设计** 热泵干燥过程中,干燥介质(空气)温度的变化对热泵单元的影响较大,同时装料量和切片厚度也直接影响到干燥速率。因此试验重点考虑的试验因素分别是干

燥介质的温度、装料量和切片厚度对干燥速率的影响。以确定正交试验的名因素的取值范围。

**1.4.1 单因素试验。**①当装料量为1.5 kg/m<sup>2</sup>,切片厚度为4 mm时温度变化范围在30~40℃的条件下的干燥速率;②当干燥温度为35℃,切片厚度为4 mm时的干燥速率;③当干燥温度为35℃,装料量为1~2 kg/m<sup>2</sup>的条件下,切片厚度为3~5 mm的干燥速率。

**1.4.2 正交试验。**为了探讨干燥介质温度、装料量、切片厚度对干燥效果的综合影响,在单因素试验的基础上,设计了3因素3水平正交试验,即干燥介质温度 A<sub>1</sub> = 30℃、A<sub>2</sub> = 35℃、A<sub>3</sub> = 40℃;装料量 B<sub>1</sub> = 15 kg、B<sub>2</sub> = 20 kg、B<sub>3</sub> = 25 kg;切片厚度 C<sub>1</sub> = 3 mm、C<sub>2</sub> = 4 mm、C<sub>3</sub> = 5 mm。以单位能耗和小时去水量为性能指标(表1)。

表1 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)试验

Table 1 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) experiment

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>

**1.5 数据处理** 通过方差分析及多重比较,确定最佳干燥工艺参数<sup>[3-4]</sup>。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 单因素试验

**2.1.1 干燥介质温度对干燥速率的影响。**图1所示,表示装料量为1.5 kg/m<sup>2</sup>,切片厚度为4 mm,温度变化范围在30~40℃的条件下,干燥介质温度对苹果片干燥速率的影响。从图中可以看出,在相同的干燥时间内,随着干燥介质温度

**基金项目** 2007年度宁夏高等学校科学研究项目;“热泵干燥系统的研究及应用”基金资助项目编号 NXGJ20070302。

**作者简介** 张海红(1967-),女,宁夏盐池人,硕士,副教授,从事食品工程研究。

**收稿日期** 2009-07-08

的升高,干燥速率明显加快。

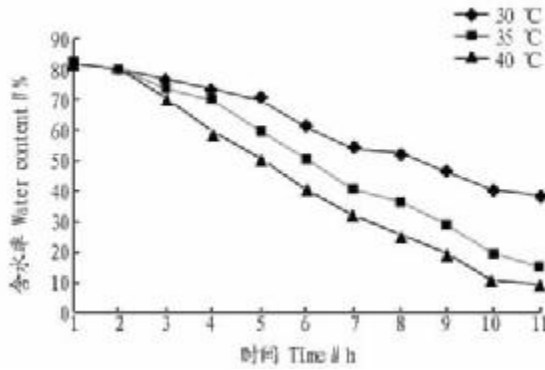


图1 介质温度对苹果片干燥速率的影响

Fig.1 The effects of medium temperature on the drying rate of apple slices

2.1.2 装料量对干燥速率的影响。图2表示干燥介质温度为35 °C,切片厚度为4 mm,装料量为1~2 kg/m<sup>2</sup>的条件下,装料量对干燥速率的影响。从图中可以看出,随着装料量的增加,干燥时间明显增加,干燥速率明显降低。

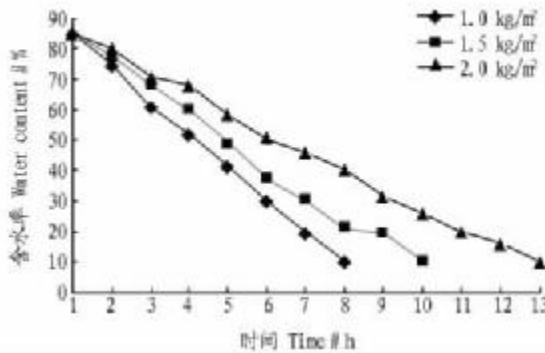


图2 装料量对苹果片干燥速率的影响

Fig.2 The effects of filling quantity on the drying rate of apple slices

2.1.3 切片厚度对干燥效果的影响。图3表示干燥介质温度为35 °C,装料量为1.5 kg/m<sup>2</sup>,切片厚度在3~5 mm的范围变化的条件下,切片厚度对干燥速率的影响。从图中可以看出,随着切片厚度的增加,干燥时间明显增加,干燥速率明显降低。

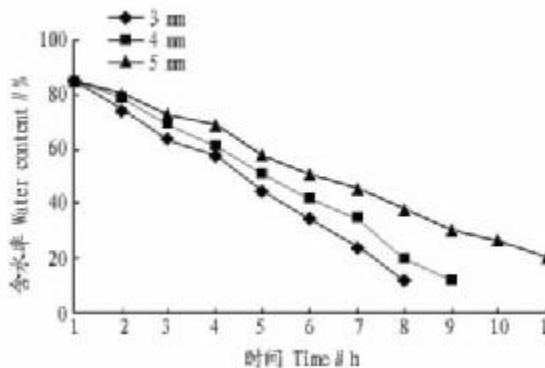


图3 切片厚度对苹果片干燥速率的影响

Fig.3 Effects of slice thickness on the drying rate of apple slices

### 2.2 正交试验

2.2.1 以单位能耗为性能指标的正交试验结果。根据各个因素和水平,以单位能耗为性能指标既每去除1 kg水所需要

消耗的能量。进行苹果片干燥试验结果见表3。3项因素,每一因素有3个水平,每一水平的重复次数为3次,总次数为9次<sup>[5]</sup>。

表2 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)苹果片干燥试验结果

Table 2 The results of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) experiment for the drying experiment of apple slices

试验号 Test No.	A 干燥介质温度 Drying medium temperature	B 装料量 Material-filling rate	C 切片厚度 Thickness of shice	单位能耗 kwh/kg Unit consumption
1	A1	B1	C1	0.87
2	A1	B2	C2	0.67
3	A1	B3	C3	0.53
4	A2	B1	C2	0.83
5	A2	B2	C3	0.63
6	A2	B3	C1	0.50
7	A3	B1	C3	0.78
8	A3	B2	C1	0.58
9	A3	B3	C2	0.47
K <sub>1</sub>	2.07	2.48	1.95	
K <sub>2</sub>	1.96	1.88	1.97	5.86(T)
K <sub>3</sub>	1.83	1.50	1.94	
$\bar{k}_1$	0.69 a	0.83 a	0.65	
$\bar{k}_2$	0.65 ab	0.63 ab	0.66	0.65( $\bar{x}$ )
$\bar{k}_3$	0.61 b	0.50b	0.65	
R	0.08	0.33	0.01	

注:小写 ab 为用 LSR 法对 A、B 因素进行多重比较时,达 5% 显著性水平值。

Note: Different small letters mean significant difference at 5% level by multiple comparison.

表3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)苹果片干燥试验结果

Table 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)test results of the drying test of apple slice

试验号 Test No.	A 干燥介质温度 Drying medium temperature	B 装料量 Material-filling rate	C 切片厚度 Thickness of shice	去水量//kg/h Drying amount
1	A1	B1	C1	1.13
2	A1	B2	C2	1.50
3	A1	B3	C3	1.88
4	A2	B1	C2	1.20
5	A2	B2	C3	1.60
6	A2	B3	C1	2.00
7	A3	B1	C3	1.28
8	A3	B2	C1	1.70
9	A3	B3	C2	2.13
K <sub>1</sub>	4.51	3.61	4.83	14.42(T)
K <sub>2</sub>	4.80	4.80	4.83	
K <sub>3</sub>	5.11	6.01	4.76	
$\bar{k}_1$	1.50 a	1.20 A	1.61	
$\bar{k}_2$	1.60 ab	1.60 AB	1.61	1.60( $\bar{x}$ )
$\bar{k}_3$	1.70 b	2.00 B	1.59	
R	0.20	0.80	0.02	

注:用 LSR 法对 A、B 两因素进行多重比较时,达 5% 显著性水平的用小写 ab 表示,达 1% 显著性水平的用大写 AB 表示。

Note: Different small letters mean significance at 5% level by LSR test and different capital letters mean significance at 1% level.

方差分析表明,A 因素和 B 因素为重要因素,C 因素为次要因素(F<sub>A</sub> = 11.52; F<sub>B</sub> = 18.26; F<sub>C</sub> < 1; F<sub>0.05</sub> = 19)。用 LSR 法<sup>[6]</sup>对 A 因素和 B 因素进行多重比较,结果见表2。多重比

较的结果是  $A_1$  和  $B_1$  为最好,另外  $A_2$  和  $B_2$  也可考虑。从单位能耗来讲,最优组合为  $A_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $B_1 = 15\text{ kg}$ ,切片厚度  $C$  为 3、4、5 mm 均可。

2.2.2 以小时去水量为性能指标的正交试验结果。以小时去水量为性能指标,根据正交试验设计,进行干燥试验,结果进行方差及多重比较分析。表 3 中,共有 A(干燥介质温度)、B(装料量)、C(苹果片厚度)3 项因素,每一因素有 3 个水平,每一水平的重复次数为 3 次,总次数为 9 次<sup>[4]</sup>。

方差分析表明,A 因素和 B 因素为重要因素,C 因素为次要因素( $F_A = 43$ ;  $F_B = 685.86$ ;  $F_C < 1$ ;  $F_{0.05(2,2)} = 19$ ;  $F_{0.01(2,2)} = 99.00$ )。用 LSR<sup>[5]</sup>法对 A 因素和 B 因素进行多重比较,结果见表 3。多重比较的结果是  $A_1$  和  $B_1$  为最好,另外  $A_2$  和  $B_2$  也可考虑。从单位小时去水量来讲,最优组合为  $A_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $B_1 = 15\text{ kg}$  为最佳,切片厚度  $C$  为 3、4、5 mm 均可。

### 3 结论

(1)通过单因素试验,探讨了各因素对干燥速率的影响。结果表明,总的趋势是:随温度升高,装料量减小,切片厚度降低干燥速率相应增加。

(2)通过 3 因素 3 水平正交试验分析了干燥介质温度、装料量和切片厚度对热泵干燥效率的影响。以单位能耗和

单位小时去水量为性能指标综合考虑,最优组合为  $A_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$  和  $B_1 = 15\text{ kg}$  为最佳,切片厚度  $C$  为 3、4、5 mm 均可。

(3)苹果片采用热泵干燥,干燥温度仅为 30 ~ 60  $^\circ\text{C}$ ,有效地保持了其色、香、味、形。

(4)采用热泵干燥设备干燥苹果片,单位小时去水量可达到 1.2 ~ 1.8 kg,单位能耗由热风干燥的 1.39 ~ 1.86 KWh/kg,水降低到 0.6 KWh/kg。与常规热风干燥相比,干燥效率由热风干燥的 30% ~ 50%<sup>[2]</sup>提高到 80% ~ 90%,节能效果显著。

### 参考文献

- [1] 付茂岭. 热泵干燥技术在脱水蔬菜生产中的应用[J]. 蔬菜, 2004(2): 3-4.
- [2] 蔡正云,何建国,周翔. 热泵技术在食品工业中的应用及研究开发[J]. 食品研究与开发, 2007(5): 46-49.
- [3] 陆蒸,林启明,王浩,等. 毛竹笋干燥特性及制品重复率[J]. 福建农林大学学报, 2002, 31(1): 117-120.
- [4] 王敏,李元瑞,陈锦屏. 南瓜丝热风干燥工艺参数的试验研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 199-203.
- [5] 袁志发,周静宇. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 292-303.
- [6] 刘光祖. 概率论与应用数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 297-299.

(上接第 15411 页)

### 3 讨论

(1)试验采用正交设计方法,确定了普洱茶泡腾片的主配配方,普洱茶与麦芽糊精质量之比为 5:2、有机酸 10%、碱性物质 6.5%、甜味剂 1.0%,同时优选了有机酸和碱性物质的比例,使泡腾剂发挥了最佳效果。分别采用酸、碱制粒法压片,压片效果较好,在该比例下所制得的泡腾片口感最好,风味独特,可作为“泡腾一族”的保健型食品。

(2)试验结果表明,巧妙地将普洱茶制成泡腾片的形式,既保留了茶的滋味及营养和药理功效,又具有体积小、重量轻、便于携带、使用方便、经济卫生等特点,而且制备工艺简单、操作简便,泡腾片质量稳定、易控、适口性强。

(3)由于泡腾片所用原料中含有一定量的有机酸和碱性物质,而这二者对湿气敏感、吸湿性强,应严格控制生产环节及成品周围的空气相对湿度,物料应贮存在密闭、防潮、干燥的环境中,防止吸湿。

### 参考文献

- [1] 王宁,陈学峰,王锐平. 茶饮料泡腾片的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2007(3): 151-153.
- [2] 王宁,陈学峰,王锐平. 山楂泡腾片生产工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2006(8): 128-130.

- [3] 于雪梅,王俊芬. 维生素 C 泡腾片的制备工艺[J]. 生产与技术, 2005(3): 57-58, 67.
- [4] 辛修峰,黄婧,杨海军. 益生元牛奶泡腾片的研制[J]. 乳品加工, 2008(1): 32-35.
- [5] 李俊杰,刘永琼,祝宏,等. 复合维生素 B 泡腾片制备工艺的研究[J]. 制剂工艺, 2008(2): 42-44.
- [6] 胡林水,郑璐,邵胜荣. 银杏叶提取物泡腾片的研制及质量考察[J]. 中药材, 2005(1): 52-54.
- [7] 李晓莉,高钰棋,高文祥,等. 复合茶泡腾片饮片的制备及其耐缺氧和抗疲劳作用的研究[J]. 饮料工业, 2005(1): 16-22.
- [8] 赵存梅,朱世斌. 药物泡腾剂技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [9] 郑玉芝,赵超艺,程江山,等. 速溶茶泡腾片的制备与配方优化设计[J]. 食品工业科技, 2006(5): 142-144.
- [10] 严鸿德,汪东风,王泽农,等. 茶叶深加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [11] 梅笑从,方元超.  $\beta$ -环状糊精微胶囊技术在茶饮料澄清处理中的应用[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2000(2): 17-19.
- [12] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [13] 蒋和体,吴永娟. 软饮料工艺学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [14] 胡小松,蒲彪,廖小军. 软饮料工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [15] 刘叔. 果树试验设计及统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [16] 陈丹. 中国茶饮料发展现状及其相关问题研究[J]. 湖南经济管理干部学院学报, 2006(3): 29-31.
- [17] 高学玲,岳鹏翔. 我国茶饮料发展现状[J]. 茶叶机械杂志, 2001(2): 1-2.
- [18] 陆松侯,施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.