

# 莲藕脆片组合干燥工艺研究

## Study on combined drying technology of lotus root chips

邢芳<sup>1</sup> 王建辉<sup>2</sup> 何新益<sup>1,3</sup> 吴海清<sup>1,3</sup> 吴佳丽<sup>1</sup> 刘珮<sup>1</sup>

XING Fang<sup>1</sup> WANG Jian-hui<sup>2</sup> HE Xin-yi<sup>1,3</sup> WU Hai-qing<sup>1,3</sup> WU Jia-li<sup>1</sup> LIU Pei<sup>1</sup>

(1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384; 2. 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南长沙 410114; 3. 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津 300384)

(1. The College of Food Science and Biotechnology of Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China;

2. Aquatic Resource Food Processing Engineering Research Center of Hunan Province, Changsha, Hunan 410114, China;

3. Tianjin Engineering Research Center of Agricultural Products Processing, Tianjin 300384, China)

**摘要:**为获得较优的莲藕脆片加工工艺,以莲藕为原料,探讨真空冷冻—热风组合干燥条件下,真空冷冻干燥时间、热风干燥温度、热风干燥时间三因素对组合干燥莲藕脆片品质的影响。结果表明,莲藕片组合干燥的最佳工艺参数为:真空冷冻干燥 4 h, 50 ℃ 热风干燥 2 h。该条件制得的莲藕片,色差  $L^* = 77.65, a^* = 0.96, b^* = 9.03$ , 硬度为 385.3 g。较热风干燥而言,真空冷冻—热风组合干燥可有效提高其品质。

**关键词:**莲藕; 冷冻干燥; 热风干燥; 组合干燥

**Abstract:** To obtain the the processing technology of lotus root chips, taken lotus root as raw materials, the effects of freeze drying time, hot-air drying temperature and hot-air drying time on quality of lotus chips by combination of freeze drying and hot-air drying were explored. Experiment results indicated the optimized technological parameters of combined freeze dring and hot-air drying were freeze drying 4h, then hot-air drying at 50 ℃ for 2 h. At those conditions, the color value  $L^*, a^*, b^*$  and hardness value of lotus root slices were 77.65, 0.96, 9.03 and 385.3 g, respectively. The results showed that combined drying technology combined freeze dring and hot-air drying were superior to the hot-air drying.

**Keywords:** lotus root; freeze drying; hot-air drying; combined drying

莲藕(nelumbo nucifera gaertn),又称荷藕、莲菜等,多年生大型宿根水生草本植物<sup>[1]</sup>,富含淀粉、膳食纤维、氨基酸和维生素等多种营养成分<sup>[2-3]</sup>。鲜莲藕储存时易腐烂变质,贮

运过程中容易发生氧化褐变。干燥作为一种重要的加工操作单元,被广泛应用于延长果蔬保期<sup>[4-5]</sup>。目前的干制技术除了日晒外,还有热风干燥、冷风干燥、喷雾干燥、微波干燥和真空冷冻干燥等<sup>[6]</sup>。自然干燥、热风干燥和低温真空油炸脱水是莲藕加工制品中常用干燥技术。低温油炸脱水是目前生产果蔬脆片的主要加工技术,但是其产品含油量较高,不适应现代低油低脂的消费理念<sup>[7]</sup>。

以莲藕为原料制得的干制品主要有脱水藕片、藕粉及油炸莲藕脆片等。江宁等<sup>[8]</sup>研究了莲藕片热风干燥特性并探讨了不同装载量和热风温度对莲藕片薄层热风干燥过程的影响。干燥过程中存在藕片硬度大、营养损失严重等问题。李丽娟等<sup>[9]</sup>采用热风干燥、真空微波干燥、热风—真空微波干燥、热风—气流膨化干燥、真空微波—气流膨化干燥、热风—真空微波—气流膨化干燥 6 种干燥方式对莲藕片进行干燥,发现热风—真空微波—气流膨化干燥制得莲藕片理化品质较好;但未对真空冷冻—热风组合干燥方式进行研究。真空冷冻干燥可较好地保留物料的色、香、味、营养和外形,但能耗大,产量低,成本高。郑亚琴等<sup>[10]</sup>就联合干燥的研究现状、存在问题及未来发展方向进行了综述,发现联合干燥可使各种干燥技术扬长补短,达到优质、低能耗、高效等目标。针对现有中国果蔬脆片生产中存在的热风干燥时间长、真空冷冻干燥能耗高等不足,本研究将真空冷冻干燥和热风干燥进行组合应用于莲藕脆片加工,既能降低能耗,又能保持产品的优良品质,以期对莲藕脆片加工技术的应用提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

莲藕:购于天津市红旗农贸市场,要求外观品质均一、选择成熟度适中、形态良好、无病虫害;

柠檬酸、氯化钠:食品级,天津农学院食品科学与生物工程学院提供。

**基金项目:**“十二五”国家科技支撑计划项目(编号:2012BAD31B08); 国家级大学生创新创业训练计划项目(编号:201510061087);长沙理工大学湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心开放基金资助项目(编号:2015GCZX01);天津市科技特派员项目(编号:15JCTPJC59600)

**作者简介:**邢芳(1994—),女,天津农学院在读本科生。

E-mail: Xingfang@163.com

**通讯作者:**何新益

**收稿日期:**2015—09—29

1.2 主要仪器设备

物性分析仪:TA.XT plus型,英国SMS公司;  
 分光色差仪:CM-5型,柯尼卡美达公司;  
 真空冷冻干燥器:CT-ALPHA1-4LDPLUS型,德国CHRIST冻干机有限公司;  
 水分快速测定仪:Sh10A型,上海精密科学仪器有限公司;  
 高速万能试样粉碎机:FW80微型,北京中兴伟业仪器有限公司;  
 电热恒温鼓风干燥箱:DH-101-0BS型,天津中环实验电炉有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 莲藕脆片制备工艺流程

莲藕→挑选→清洗→去皮→切片→护色→漂烫→漂洗→沥水→冷冻→组合干燥→成品

1.3.2 操作要点

- (1) 挑选:选用表面光滑,颜色白嫩,无损坏的藕。
- (2) 清洗、去皮:洗去表面的污物,泥沙,去除藕的表皮。
- (3) 切片:切成1.5~3.0 mm的薄片<sup>[11]</sup>。
- (4) 护色:称取一定量的莲藕薄片置于0.2%柠檬酸和1% NaCl复合护色液中室温浸泡护色30 min,以保持产品色泽。
- (5) 漂烫:用90℃的热水漂烫5 min,一般要根据切片的厚薄将其漂烫至八成熟。
- (6) 漂洗:将漂烫的藕片迅速放入清水中漂洗,使藕片迅速冷却至常温。
- (7) 冷冻:将藕片捞出后沥水,然后放入-18℃以下冻结24 h。
- (8) 组合干燥:先真空冷冻干燥至最佳水分转换点,然后进行热风干燥。

1.3.3 真空冷冻干燥 将预冻过夜的藕片进行真空冷冻干燥,在冷阱温度-50℃、压力(80±5) Pa下干燥至含水量≤7%为干燥终点,测定莲藕片的色泽、酥脆性等品质指标。

1.3.4 热风干燥 将预处理的莲藕片分别在50,60,70,80,90℃进行热风干燥。藕片含水量≤7%为干燥终点,测定干燥过程中含水量的变化,测定莲藕片的色泽、酥脆性等品质指标,确定较佳的热风干燥条件。

1.3.5 组合干燥试验 将预处理的莲藕片分别在冷阱温度-50℃、压力(80±5) Pa条件下,冷冻干燥3,4,5 h,再将藕片在已确定的最佳热风温度下进行干燥,测定热风干燥过程中含水量变化。藕片含水量≤7%为干燥终点,测定产品的色差以及硬度值,确定真空冷冻-热风干燥水分转换点,得

出最佳组合干燥的搭配。

1.3.6 含水量的测定 采用快速水分测定仪测定<sup>[12]</sup>。

1.3.7 色差的测定 将藕片磨成粉状,采用全自动测色色差仪,测定色差值。以仪器白板为标准,测量各干燥工艺处理的藕片明度指数 $L^*$ ,色品指数 $a^*$ 、 $b^*$ , $L^*$ 表示黑白(亮暗), $a^*$ 表示红绿, $b^*$ 表示黄蓝。

1.3.8 硬度的测定 采用质构仪TPA测定。测试条件:探头为P/0.25S圆柱型探头。测试模式:测试前速率5 mm/s,测试速率1 mm/s,测试后速率1 mm/s,测试距离5 mm,数据采集速度500次/s。硬度值等于曲线中力的峰值,即样品断裂所需要的最大力,数值越大,表明产品越硬。

2 结果分析

2.1 热风干燥对莲藕脆片干燥速度的影响

由图1可知:在风速和莲藕片厚度相同的情况下,热风干燥的温度对藕片脱水的速率有显著的影响。温度越高,脱水速率越快。50℃时脱水至5%以下需200 min;90℃时脱水至5%以下需70 min,耗时仅为50℃时的1/3,但藕片皱缩较严重;70℃时脱水至5%以下需160 min,耗时较50℃时短,干制品形态完整,皱缩不明显。综合考虑,选用70℃。

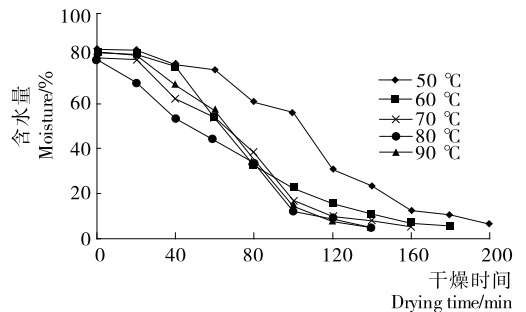


图1 热风干燥温度对藕片干燥曲线的影响

Figure 1 The influence of hot-air temperature on the drying characteristics

2.2 干燥方式对莲藕脆片干燥特性的影响

干燥方式对莲藕脆片色泽、硬度值及干燥时间的影响见表1。由表1可知,真空冷冻干燥处理的藕片 $L^*$ 最大,表示最白; $a^*$ 最小,表示红色较淡; $b^*$ 最小,表示黄色较淡,但是所需时间最长,水分含量降至终点水分7%以下需要8 h。不同温度热风干燥处理的藕片中,随着温度的升高, $L^*$ 值呈下降趋势, $a^*$ 值和 $b^*$ 值逐渐增大,硬度逐渐增大,干燥时间越来越短。说明热风干燥的温度越高,产品的色泽越差,品质越差。从节能的角度并综合干燥品质考虑,选择50℃热风干燥温度与冷冻干燥进行组合试验。

表1 干燥方式对藕片干燥特性的影响

Table 1 The effects on the color and hardness of lotus root chips by single-drying

干燥方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$	硬度/g	干燥耗时/h
真空冷冻干燥	89.20±0.32	1.53±0.04	8.54±0.08	267.6±3.21	8.0
50℃热风	83.89±0.87	2.08±0.07	9.99±0.13	575.3±3.58	3.3
60℃热风	81.55±0.47	2.63±0.09	10.66±0.10	622.7±4.17	3.0
70℃热风	81.40±0.65	2.93±0.05	11.00±0.19	638.3±4.36	2.5
80℃热风	78.70±0.13	3.19±0.08	12.47±0.18	685.2±2.44	2.0
90℃热风	80.01±0.85	2.95±0.20	11.58±0.16	618.3±4.19	1.2

### 2.3 组合干燥对莲藕脆片干燥速度的影响

将预处理的藕片在  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 压力  $(80\pm 5)\text{ Pa}$  下分别冷冻干燥 3, 4, 5 h 后, 再进行  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  热风干燥, 比较不同组合方式对藕片含水量的影响, 结果见图 2。

由图 2 可知, 冷冻干燥 3, 4, 5 h 的莲藕片的含水量均随着热风干燥时间的延长而降低, 要达到安全含水率 7% 以下均需 100 min 以上。综合考虑, 冷冻干燥 4 h 后  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  热风干燥 2 h, 为较佳组合干燥方法, 干燥转换水分点为 50.86%。

### 2.4 莲藕脆片品质分析

对组合干燥所得的最终产品进行色泽和硬度的测定, 测定 10 组样品后求得平均值, 结果见表 2。

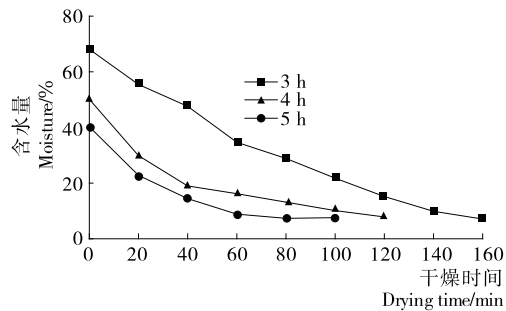


图 2 热风干燥时间对含水量的影响

Figure 2 The influence of hot-air time on the moisture content

表 2 不同组合干燥对色泽和硬度的影响

Table 2 The effects on the color and hardness of lotus root chips by combined drying

组合干燥	$L^*$	$a^*$	$b^*$	硬度/g
冷冻干燥 3 h + $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热风	$62.42\pm 0.84$	$1.42\pm 0.20$	$8.52\pm 0.41$	$647.7\pm 112.2$
冷冻干燥 4 h + $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热风	$77.68\pm 1.74$	$0.96\pm 0.05$	$9.03\pm 0.18$	$397.7\pm 42.6$
冷冻干燥 5 h + $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热风	$69.48\pm 0.21$	$1.22\pm 0.04$	$9.44\pm 0.15$	$530.9\pm 55.3$

由表 2 可知, 先冷冻干燥 4 h 后热风干燥制得的莲藕片, 硬度最小, 为 385.3 g。冷冻干燥 3 h 后进行热风干燥其硬度最大, 主要是由于热风干燥时间长, 在干燥过程中溶质随水分向藕片表面迁移, 在表面产生集聚, 硬度加大。而冷冻干燥将冰直接升华成水蒸气, 藕片中的分子间隙较大, 所以藕片比较酥脆, 硬度小<sup>[13]</sup>。

## 3 结论

该研究确定了藕片组合干燥的最佳工艺为先冷冻干燥 4 h 后  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  热风干燥 2 h, 在此条件下所生产的藕片, 水分转换点为含水量 50.86%, 色差  $L^* = 77.65$ ,  $a^* = 0.96$ ,  $b^* = 9.03$ , 硬度值为 385.3 g, 表现出良好的酥脆性。先进行真空冷冻干燥不仅能定型, 减小收缩率, 从而改善藕片的硬度, 而且可以防止褐变。热风干燥选取  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度, 在此温度下干燥过程对色泽的影响较小。真空冷冻—热风组合干燥方式能改善藕片单一热风干燥品质, 而且有效缩短单一冷冻干燥时间, 节约能耗。

### 参考文献

- 王向阳, 姜丽佳, 王忠英. 莲藕的酶促褐变及其贮藏中褐变的控制[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 276~280.
- Xing Ya-ge, Li Xi-hong, Xu Qian-lian, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684~689.
- 刘建学. 全藕粉喷雾干燥工艺试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 229~231.
- 郭婷, 何新益, 邓放明. 冻融甘薯热风干燥特性与动力学研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 8~11.

- 余彬, 周文化, 何新益. 组合预处理对提高甘薯压差膨化干燥品质的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(18): 6~9.
- Pei Fei, Shi Ying, Alfred Mugami Mariga, et al. Comparison of freeze-drying and freeze-drying combined with microwave vacuum drying methods on drying kinetics and rehydration characteristics of button mushroom (*Agarius bisporus*) slices [J]. Food Bioprocess Technol., 2014, 7(6): 1 629~1 639.
- Shyi L S, Lucy S H. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips[J]. Food Research International, 2001, 34(2): 133~142.
- 江宁, 李丽娟, 李大婧, 等. 莲藕片热风干燥特性及动力学模型[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 247~250.
- 李丽娟, 刘春泉, 李大婧, 等. 不同干燥方式对莲藕脆片品质的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(11): 1 697~1 703.
- 郑亚琴, 石启龙, 赵亚. 果蔬联合干燥技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 438~442.
- 郭婷, 邓放明, 何新益. 预处理方式对甘薯变温压差膨化干燥产品品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 202~204.
- 大连轻工业学院. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工出版社, 2009: 75~78.
- 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 24~48.