

# 干燥工艺对慈菇脆片品质的影响

吴海虹<sup>1,2</sup>, 刘春菊<sup>1,2</sup>, 卓成龙<sup>2</sup>, 李大婧<sup>1,2</sup>, 刘春泉<sup>1,2,\*</sup>

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014;

2.国家农业科技华东(江苏)创新中心-农产品加工工程技术中心, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 研究热风干燥、微波干燥、真空微波干燥、热风-微波干燥4种不同的干燥方式对慈菇脆片物理性质、营养成分、微观结构的影响。结果表明: 热风干燥对慈菇脆片色泽影响不大, 但慈菇脆片硬度脆度差; 微波干燥和真空微波干燥慈菇脆片硬度脆度适中, 但色泽及风味较差; 热风-微波干燥慈菇脆片色泽最好, 硬度和脆度适中, 慈菇脆片的感官品质最佳, 多酚保留率较高; 热风-微波干燥体现较好的膨化效果可能与形成更均匀多孔状的组织结构有关。

**关键词:** 慈菇脆片; 干燥方式; 品质

## Effects of Different Drying Methods on the Quality of Arrowhead Chips

WU Hai-hong<sup>1,2</sup>, LIU Chun-ju<sup>1,2</sup>, ZHUO Cheng-long<sup>2</sup>, LI Da-jing<sup>1,2</sup>, LIU Chun-quan<sup>1,2,\*</sup>

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. Engineering Research Center for Agricultural Products Processing, National Agricultural Science and Technology Innovation Center in East China, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The effects of 4 drying methods including hot air drying, microwave drying, vacuum microwave and combined hot air-microwave drying on physical properties, nutritional composition and microstructure of arrowhead chips were investigated. The results showed that hot air drying had little effect on the color of arrowhead chips, but resulted in poor hardness and brittleness of the product; microwave drying and vacuum microwave drying could provide moderate hardness and brittleness of arrowhead chips, but the color and flavor were the worst among these methods. Hot air-microwave drying could provide the best color and sensory quality, higher polyphenol retention, and moderate hardness and brittleness of arrowhead chips. The combine drying method exhibited excellent bulking effect, which might be related with more uniform and porous structure of arrowhead chips.

**Key words:** arrowhead chips; drying method; quality

中图分类号: TS214.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)24-0036-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201324007

慈菇(*Sagittaria sagittifolia* L.)是泽泻科属多年生宿根浅水草本植物,在我国各地均有种植,但主要分布在长江流域及其以南地区,为冬春蔬菜供应淡季的主要水生蔬菜之一<sup>[1]</sup>,慈菇富含淀粉、蛋白质、糖类、无机盐、VB、VC及胰蛋白酶等多种营养成分<sup>[2]</sup>。可替代米麦成为特殊的杂粮,且极易消化<sup>[3]</sup>。研究表明其还具有抗肿瘤、抗氧化和抗肝纤维化的效果<sup>[4]</sup>。作为一种天然的食物资源,其营养保健价值已受人们所关注<sup>[5]</sup>。

果蔬干制品作为果蔬加工的主要产品,近几年发展速度很快,国内外需求增长很大。通过干燥可以将物料中水分含量降低到一定程度,延长食品的货架期、降低贮运成本,但是干燥过程中物料的物理、化学变化会直

接影响到最终产品品质<sup>[6]</sup>。因此,有关干燥产品品质的研究成为近年来的热点。目前,果蔬干燥方法主要有热风干燥、微波干燥、低温油炸干燥、真空冷冻干燥等。传统应用的热风干燥技术是应用最为广泛的干燥方法,但经热风干燥的食品,其色、香、味难以保留,维生素等热敏性营养成分或活性成分损失较大<sup>[7]</sup>;低温油炸干燥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,油脂氧化影响产品品质<sup>[8-9]</sup>;真空冷冻干燥能带来极高的产品质量,但是由于生产周期长,导致了加工成本高、生产效率低、能耗大等问题<sup>[10]</sup>;微波干燥节能、高效、杀菌、保质等优点已越来越广泛地应用于干制品加工领域,但存在干燥后期易产生局部过度加热,出现

收稿日期: 2013-07-29

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(13)3082)

作者简介: 吴海虹(1976—),女,助理研究员,硕士,研究方向为农产品深加工。E-mail: wuhaihong169@163.com

\*通信作者: 刘春泉(1959—),男,研究员,硕士,研究方向为农产品精深加工与产业化开发。E-mail: liuchunquan2009@163.com

焦糊的现象<sup>[11-12]</sup>。因此,根据物料的特点,将两种或两种以上的干燥方法优势互补,并分阶段进行,联合干燥方法已在苹果<sup>[13]</sup>、毛豆<sup>[14]</sup>、胡萝卜<sup>[15]</sup>、黄花菜<sup>[16]</sup>、金针菇<sup>[17]</sup>等干燥产品上得到广泛应用,但未见应用在慈姑干燥的相关报道。本实验以慈姑为原料比较热风干燥、微波干燥、真空微波干燥、热风-微波干燥4种常用的干燥方式对慈姑脆片品质的影响,旨在确定适合慈姑脆片生产的干燥工艺,为干制慈姑脆片加工工艺的筛选和开发应用提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

实验样品购于苏果超市,选择大小相近且表皮无损伤的新鲜饱满慈姑,将慈姑洗净、去皮后,用不锈钢刀切成4~5mm厚的薄片,立即浸于0.2%柠檬酸和1%氯化钠组成的护色液中护色,30min后取出,于沸水中烫漂5min,流动水冷却至常温后,置于-18℃左右的冰箱中,冻藏备用。干燥前慈姑片的初始水分含量约为75%。

柠檬酸和氯化钠为食品级,福林试剂、碳酸氢钠、没食子酸、碳酸钠、无水乙醇均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

DHG-9073B5-III型电热恒温鼓风干燥箱 上海新苗医疗器械制造有限公司;MVD-1型微波真空干燥设备南京孝马机电设备厂;QTS型质构仪 英国CNS Farnell公司;FW100高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;FA2104电子分析天平 北京赛多利斯科学仪器有限公司;WSC-S型色差仪 上海精密科学仪器有限公司;JSM5610LV型扫描电子显微镜、JFC-1600镀金仪 日本Jeol公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 干燥方法

分别采用热风干燥、微波干燥、真空微波干燥、热风-微波干燥4种干燥方法,将同一批次预处理后的慈姑片干燥至含水率5%左右,各干燥条件如下:1)热风干燥:温度65℃、干燥时间8h;2)微波干燥:微波强度6W/g、干燥时间35min;3)真空微波干燥:微波强度6W/g、真空度为0.85MPa、干燥时间50min;4)热风-微波干燥:将烫漂后的慈姑片热风干燥至转换水分为35%左右均湿后放入微波设备中,微波强度6W/g。

#### 1.3.2 硬度和脆度的测定

用质构仪测定,测试条件如下:探头型号:P/5N圆柱型探头;操作模式:下压过程中测量力;测前速率:3.0mm/s;测试速率:0.5mm/s;测后返回速率:3.0mm/s;下压距离:2mm。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。脆度

值以出现在下压探头第一次冲向样品过程中坐标图上的第一个明显压力峰值表示,值越小,表明产品脆度越好<sup>[18]</sup>。

#### 1.3.3 色泽测定

为了更准确地测定慈姑片的色泽,将其打粉后,采用色差计测定慈姑粉的色差。 $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; $a^*$ 值为正值表示偏红,为负值表示偏绿,值越大表示偏向越严重; $b^*$ 值为正值表示被测物偏黄,为负值表示被测物偏蓝。

#### 1.3.4 慈姑脆片感官质量评定

参照GB/T 22699—2008《膨化食品》标准,从产品的色泽、外观、组织结构、滋味及气味4个方面评价产品的感官质量。

#### 1.3.5 微观结构的测定

采用扫描电镜观察<sup>[19]</sup>。

#### 1.3.6 多酚测定

采用福林-酚比色法<sup>[20]</sup>。准确称取样品5g加入60%乙醇定容50mL后超声60min,收集上清液,剩余残渣按照相同方式提取2次,合并上清液并转移至50mL容量瓶中。10mL具塞试管中加入1mL上述提取液,和4mL水、0.5mL Folin-Ciocalteu试剂、1.5mL 20g/100mL碳酸钠溶液,混合均匀,30℃平衡2h,测定 $A_{760nm}$ 。以100、200、300、400mg/L和500mg/L的没食子酸质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标作标准曲线,所得标准曲线方程为: $y=0.0802x-0.032$ , $R^2=0.9972$ 。多酚含量单位为mg GAE/100g。按下式计算多酚保留率。

$$\text{多酚保留率}/\% = \frac{\text{干样多酚含量}/(\text{mg GAE}/100\text{g})}{\text{鲜样多酚含量}/(\text{mg GAE}/100\text{g})} \times 100$$

#### 1.3.7 可溶性蛋白的测定

采用考马斯亮蓝染料比色法<sup>[21]</sup>。

### 1.4 统计分析

单因素试验指标的差异采用SPSS 20.0统计软件中ANOVA方差分析,由Tukey分析均值差异的显著性,显著水平 $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥方式对慈姑脆片硬度、脆度的影响

表1 干燥方式对慈姑脆片硬度、脆度的影响  
Table 1 Effects of different drying methods on the hardness and crispness of arrowhead chips

干燥方式	硬度/g	脆度/g
热风干燥	3384.33±42.19 <sup>a</sup>	3149.00±104.70 <sup>a</sup>
微波干燥	2359.00±96.39 <sup>b</sup>	2401.00±221.07 <sup>b</sup>
真空微波干燥	2327.00±108.57 <sup>b</sup>	2176.33±110.14 <sup>b</sup>
热风-微波干燥	2265.67±111.54 <sup>b</sup>	2156.67±13.05 <sup>b</sup>

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

慈菇脆片作为休闲食品可直接食用,硬度和脆度是重要的两个指标,直接影响到人们食用时的口感。从表1可看出,在硬度方面4种干燥方式除热风干燥硬度值在3000g以上,其他3种干燥方式硬度值都处于2000~2500g的范围。分析其原因是热风干燥过程中,温度从外向内传递,使得慈菇的表面温度高于内部,随着表面水分的蒸发迁移,细胞迅速收缩在表面形成一层干硬膜。当颗粒中心干燥和收缩时,又会出现内裂空隙,从而形成表皮起皱和干瘪坚硬等现象,表现为产品口感坚硬<sup>[22]</sup>。在脆度方面,热风-微波干燥的产品脆度最好,真空微波干燥、微波干燥次之,热风干燥产品脆度最差。其原因为微波干燥、真空微波干燥、热风-微波干燥在微波作用下由内向外蒸发,水分产生多孔性结构是其酥脆度较好的主要原因。经实验发现,硬度在2000~2500g范围内,产品的硬度居中,口感酥脆,故微波干燥和真空微波干燥及热风-微波干燥的硬度和脆度都比较适中,适合作为一种休闲食品。

## 2.2 干燥方式对慈菇脆片色泽的影响

表2 干燥方式对慈菇脆片色泽的影响

Table 2 Effects of different drying methods on the color of arrowhead chips

干燥方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$
热风干燥	76.60±0.23 <sup>a</sup>	5.37±0.13 <sup>c</sup>	25.38±0.11 <sup>d</sup>
微波干燥	68.42±0.41 <sup>d</sup>	11.45±0.20 <sup>a</sup>	34.40±0.02 <sup>a</sup>
真空微波干燥	70.60±0.61 <sup>c</sup>	8.97±0.14 <sup>b</sup>	31.46±1.33 <sup>b</sup>
热风-微波干燥	75.16±0.10 <sup>b</sup>	4.93±0.17 <sup>c</sup>	28.72±0.05 <sup>c</sup>

色泽是评价果蔬干燥产品品质的一个重要指标,4种干燥方式对慈菇脆片的影响见表2。热风-微波干燥方式与热风干燥方式相比产品的 $a^*$ 值无明显差异, $b^*$ 值略高于热风干燥的 $b^*$ 值。微波干燥、真空微波干燥方式产品的 $L^*$ 值明显小于热风干燥和热风-微波干燥方式, $a^*$ 值、 $b^*$ 值高于热风干燥和热风-微波干燥方式。其原因可能是直接微波干燥、真空微波干燥产品因为物料一开始含水较高,内部水分分布有差异性,对微波能吸收存在不均匀性,容易导致局部温度过高,到微波后期更不易控制,因此局部出现焦糊现象<sup>[23]</sup>,慈菇脆片颜色偏黄。热风干燥与热风-微波干燥 $L^*$ 值较高,这可能是由于热风干燥采取的温度为65℃,该温度条件下不会发生焦糊现象。而热风-微波干燥方式,热风后均湿处理,物料水分分布比较均匀,后期微波时间很短,也不足以产生局部过热现象,因此色泽变化不大。

## 2.3 干燥方式对慈菇脆片感观品质的影响

由表3可知,热风干燥、热风-微波干燥产品均为淡黄色,微波干燥的慈菇脆片呈黄褐色,表面有焦糊现象,这与色差计测得的结果一致。在外观方面,热风干燥产品的表皮皱缩严重,膨化度最小。热风-微波干燥产品表面光滑,膨化度大。微波干燥和真空微波干燥慈菇片表面有气

泡,真空微波干燥的慈菇片还有少量碎片。在组织结构方面,微波干燥、真空微波干燥和热风-微波干燥产品结构疏松口感酥脆。在滋味、气味方面,热风-微波干燥的风味最为浓郁。热风干燥由于干燥时间长,香味损失大,导致慈菇脆片风味极淡。直接微波干燥和真空微波干燥方式在微波干燥后期,慈菇脆片的内部水分分布不均匀,导致样品局部出现焦糊现象,从而影响其风味。

表3 干燥方式对慈菇脆片感官品质的影响

Table 3 Sensory quality of arrowhead chips under different drying methods

干燥方式	外观	色泽	组织结构	滋味、气味
热风干燥	表皮皱缩严重,膨化度小,片形完整	淡黄	内部结构致密,口感硬且韧	慈菇风味淡
微波干燥	表皮未皱缩,膨化度大,有气泡	黄褐色,表面部分焦糊	内部结构较疏松,口感酥脆	焦糊味严重
真空微波干燥	表皮未皱缩,膨化度大,有气泡及少量碎片	黄色,中心略有焦糊	内部结构较疏松,口感酥脆	略有焦糊味
热风-微波干燥	表皮未皱缩,膨化度较大,片形完整	淡黄	内部结构较疏松,口感酥脆	慈菇风味浓,保留特有苦味

## 2.4 干燥方式对慈菇脆片微观结构的影响

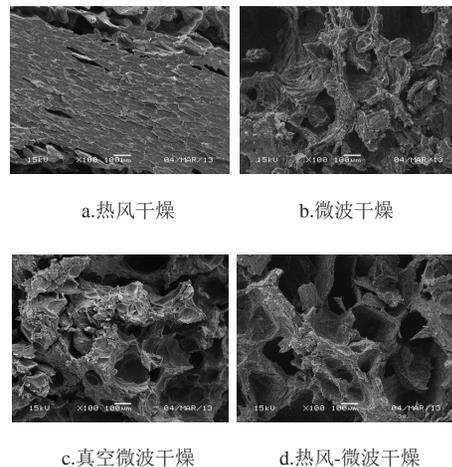


图1 干燥方式对慈菇脆片微观结构的影响(×100)

Fig.1 Effects of different drying methods on the microstructure of arrowhead chips (×100)

由图1可知,热风干燥方式没有膨化的作用,产品的细胞结构排列致密,细胞间几乎没有空隙。微波干燥、真空微波干燥及热风-微波干燥的产品在微波作用下内部形成多孔状,膨胀状态,产品细胞间的空隙较大。采用热风-微波干燥方式时,空隙更为均匀,孔壁较薄,其原因为经过前期热风干燥的恒速干燥阶段,慈菇脆片内部形成较均一的水蒸气蒸发通道,利于后续微波干燥时的迅速、均匀脱水,因此酥脆性更优于直接微波干燥和真空微波干燥,这与章斌等<sup>[24]</sup>报道的先热风后微波组合干燥的成品品质明显优于单一的热风干燥或微波干燥的产品相一致。

## 2.5 干燥方式对慈菇脆片的多酚和可溶性蛋白保留率的影响

多酚是一种抗氧化物质,但在干燥过程中容易发生

酶促和非酶促反应而损失,在加工过程中容易受温度和氧化作用的影响而损失<sup>[25]</sup>。由表4可看出,微波干燥方式的慈姑脆片多酚保留率最低,其次是真空微波干燥、热风-微波干燥方式,最后是热风干燥方式。原因在于直接微波干燥,微波干燥时间较长,物料内部温度很高,不易及时散发,导致多酚类物质活性破坏。而热风干燥方式温度较低从而使得酚类物质保留的较好,热风-微波干燥方式由于干燥后期使用微波干燥时间短,所以多酚保留率有了很大的提高。4种干燥方式后的慈姑脆片可溶性蛋白都发生降解,不同的干燥方式对可溶性蛋白保留率影响不大。

**表4 干燥方式对慈姑脆片总酚和可溶性蛋白保留率的影响**  
**Table 4 Effects of drying methods on the retention of polyphenol and soluble protein in arrowhead chips**

干燥方式	多酚保留率/%	可溶性蛋白保留率/%
热风干燥	71.51±1.20 <sup>a</sup>	38.29±0.72 <sup>b</sup>
微波干燥	21.18±1.54 <sup>d</sup>	39.81±0.92 <sup>a</sup>
真空微波干燥	30.32±0.90 <sup>c</sup>	40.10±0.14 <sup>a</sup>
热风-微波干燥	65.48±1.53 <sup>b</sup>	39.61±0.62 <sup>ab</sup>

### 3 结论

在4种干燥方式中,除了热风干燥的慈姑脆片硬度、脆度较差,其他3种干燥方式都在合理范围内;热风干燥、热风-微波干燥产品色泽较好,真空微波干燥次之,微波干燥产品色泽最差;热风-微波干燥慈姑脆片的感官质量最佳,口感酥脆,风味浓郁;微波干燥、真空微波干燥及热风-微波干燥的慈姑脆片均能形成多孔状的组织结构,达到膨化效果,其中热风-微波干燥最均匀;热风干燥慈姑片的多酚保留率最高,其次是热风-微波干燥,微波干燥多酚损失最大;4种干燥方式对慈姑脆片可溶性蛋白保留率影响不大。综上所述,采用热风-微波干燥慈姑脆片充分利用了热风干燥与微波干燥各自的优势,产品口感酥脆、营养成分保留率高且生产成本低,可作为慈姑脆片产业化生产合适的干燥工艺。

### 参考文献:

- 赵龙,阮美娟,秦学会,等. 蒽酮-硫酸法测定慈姑中多糖的含量[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(12): 118-121.
- 吴小南,汪家梨. 慈姑保健作用的初步评价[J]. 食品科学, 1996, 17(3): 45-47.
- 王素雅,曹崇江,杨晓蓉,等. 慈姑淀粉的性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(10): 40-43.
- 吴小南,汪家梨,黄帆. 慈姑对镉致大鼠脂质过氧化反应干预作用的探讨[J]. 中国公共卫生学报, 1999, 18(6): 348-350.
- 陆祖福,吴小南,汪家梨,等. 慈姑营养成分分析与抗氧化作用机理探讨[J]. 海峡预防医学杂志, 2002, 8(1): 50-51.
- SOURAKI B A, MOWLA D. Shrinkage and density variations of fresh green beans during drying in an inert medium fluidized bed[J]. Journal of Food Quality, 2008, 31: 323-346.
- 张国琛,徐振方,潘澜澜. 微波真空干燥技术在食品工业中的应用与展望[J]. 大连水产学院学报, 2004, 19(4): 292-296.
- WANG Zaohui, CHEN Guohua. Theoretical study of fluidized-bed drying with microwave heating[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2000, 39(3): 775-782.
- ANDRES A, BILBAO C, FITTO P. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(1): 71-78.
- RATTI C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(4): 311-319.
- DROUZAS A E, TSAMI E, SARVACOS G D. Microwave/vacuum drying of model fruit gels[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 39(2): 117-122.
- 张立彦,芮汉明. 微波干燥食品技术[J]. 食品工业, 1999(1): 45-47.
- 张永茂,庞中存,颜敏华,等. 微波-压差膨化苹果脆片生产的设备与工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 210-214.
- 李大婧,卓成龙,江宁,等. 热风联合压差膨化干燥对苏99-8毛豆仁风味和品质的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1219-1225.
- 黄宗海,何新益,王佳蕊,等. 预处理方式对胡萝卜变温压差膨化干燥品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 124-126.
- 杨大伟,夏延斌. 微波和热风联合干燥薄层黄花菜的方法研究[J]. 食品科技, 2003(9): 28-30.
- 卜召辉,胡庆国,陆宁. 真空微波与真空冷冻联合干燥金针菇的研究[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 16-19.
- 刘霞,江宁,刘春泉,等. 不同干燥方式对黑毛豆仁品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 59-62.
- 丁媛媛,毕金峰,木泰华,等. 不同干燥方式对甘薯产品品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 108-112.
- 弓志青,刘春泉,李大婧. 不同品种板栗贮藏过程中总酚与抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(1): 45-49.
- 陈钧辉,陶力,李俊,等. 生物化学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 63-64.
- 王静,胡秋辉,辛志宏. 真空微波与热风联合干燥蒜片的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 280-283; 286.
- 胡庆国. 毛豆热风与真空微波联合干燥过程研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- 章斌,候小桢. 热风与微波联合干燥香蕉片的工艺研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 97-99.
- 程力,何继文,顾正彪,等. 甘薯全粉加工关键技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 140-145.