

# 热泵干燥工艺对佛手凉果色泽及质构的影响

## Effect of the heat pump drying technology on the color and texture of preserved bergamot

周爱梅<sup>1,2</sup> 王爽<sup>2</sup> 刘欣<sup>1,2</sup> 钟青萍<sup>1,2</sup>

ZHOU Ai-mei<sup>1,2</sup> WANG Shuang<sup>2</sup> LIU Xin<sup>1,2</sup> ZHONG Qing-ping<sup>1,2</sup>

柳春红<sup>1,2</sup> 黄凯信<sup>1</sup> 陈汉民<sup>1</sup> 曹庸<sup>2</sup>

LIU Chun-hong<sup>1,2</sup> HUANG Kai-xin<sup>1</sup> CHEN Han-min<sup>1</sup> CAO Yong<sup>2</sup>

(1. 广东展翠食品股份有限公司, 广东 潮州 515634; 2. 华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

(1. Guangdong Zhancui Food Co., Ltd., Chaozhou, Guangdong 515634, China;

2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

**摘要:**以佛手渗糖果胚为原料,采用热泵干燥技术对其进行干燥研究,以干燥速率及产品的水分含量、色泽及质构为指标,研究热泵干燥的工艺参数,并用此条件与传统的自然干燥、热风干燥技术进行对比。结果表明:在干燥温度 49℃、相对湿度 40%、平铺密度 0.75 g/cm<sup>2</sup> 条件下,采用热泵干燥技术干燥至产品水分含量为 25.41% 耗时仅为 6 h,而且产品的外观、色泽及质构保持良好。与自然干燥、热风干燥技术相比,热泵干燥技术耗时分别缩短了 72.73%, 40.00%。热泵干燥耗时较短,且所得凉果的质构及色泽都较好,是一种有效的干燥方法。

**关键词:**佛手;凉果;热泵干燥;自然干燥;热风干燥

**Abstract:** The technological parameters of heat pump drying for sugar preserved Bergamot were evaluated by testing drying rate and the moisture content, color and texture of the products compared with the traditional natural drying and hot air-drying technology. Results: It showed that drying temperature had the greatest influence on the drying rate of heat pump drying, followed by relative humidity and tile density respectively. The optimal parameters of the heat pump drying technology were as follows: drying temperature 49℃, relative humidity 40%, tile density 0.75 g/cm<sup>2</sup>. Under these conditions, the time for drying the products to moisture content of 25.41% was only 6 h, and the products exhibited favorable appear-

ance, color and texture. Comparing to the traditional natural drying and hot air drying technology, the drying time was reduced by 72.73% and 40.00% respectively. Compared with the traditional drying technology, heat pump drying was an ideal drying technology for preserved fruits due to its shorted drying time and resulting products with good quality.

**Keywords:** bergamot-plum; preserved fruits; heat pump drying; natural drying; hot air drying

佛手(*Citrus medical* var. *sarcodactylis*)又称为佛手香橼、蜜罗柑、福寿橘,为芸香科(Rutaceae)柑桔属植物佛手的果实<sup>[1]</sup>。其含有柠檬油、橙皮甙等物质,气味芳香,主要产于中国广东、四川、浙江等地,其中以浙江金华佛手最为著名,被称为“果中之鲜品,世上之奇卉”<sup>[2]</sup>。其佛手是一种药食同源的传统名贵药材,具有较高的经济价值和药用价值<sup>[3-5]</sup>。

目前,佛手主要加工成佛手果脯、佛手发酵酒、佛手果汁饮料、佛手酥、佛手保健茶等,由于佛手凉果具有清热利咽、祛痰润喉等功效,现已深受广大消费者的喜爱<sup>[6-7]</sup>。在凉果加工的过程中,主要工序有:盐渍、漂烫、渗糖及干燥、包装<sup>[8]</sup>。而干燥作为影响产品品质的重要环节之一,其干燥方法主要有自然干燥、太阳能干燥、热风干燥、真空冷冻干燥等。自然干燥具有不需投资的优势<sup>[9]</sup>,但干燥的过程及程度都难以控制,且得到的产品中维生素损失较大<sup>[10]</sup>。热风干燥又称为“瞬时干燥”,具有操作方便,效率高等优点<sup>[11]</sup>,但是热风干燥系统需选用中高压通风机,动力消耗较大,设备体积较大<sup>[12]</sup>。太阳能干燥具有效率高、周期短等优点,但受气候的影响较大,且前期投资较大,因而其推广受到限制<sup>[13]</sup>。真空冷冻干燥得到的产品质量较好,但其操作费用

**基金项目:**广东省“扬帆计划”引进创新创业团队项目(编号:2016YT03S056);广东省省部产学研结合项目(编号:2013B090600003)

**作者简介:**周爱梅,女,华南农业大学教授,博士。

**通信作者:**刘欣(1958—),女,华南农业大学教授,硕士生导师。

E-mail: 823576081@qq.com

**收稿日期:**2017-08-09

较高,在工业化生产中的应用受到一定限制<sup>[14]</sup>。热泵干燥(heat pump drying, HPD)能够有效地利用环境热源,得到的产品不仅能较好地保留物料中的热敏性物质,干燥时间较短且产品的品质较高,并能达到节能减排的效果,已被广泛应用于食品、制药等行业<sup>[15-17]</sup>。但目前该技术在凉果上的应用研究未见报道。

本研究拟以渗糖后佛手果胚为原料,研究主要影响因子干燥温度、相对湿度、平铺密度对热泵干燥最终产品的影响,并与传统的干燥技术进行对比,旨在为佛手凉果生产工艺的改良提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 原材料

佛手渗糖果胚:水分含量 58%,含糖量 45%,广东展翠食品股份有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器

热泵干燥机:GHRH-20型,广东弘科农业机械研究开发有限公司;

美能达色差仪:CR-410型,上海图新电子科技有限公司;质构仪:TA-Plus型,英国 Stable Micro System 公司;电热恒温干燥箱:101-1AS型,康恒仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 原料预处理

- (1) 果胚去杂:去除石子等其他杂质。
- (2) 盐渍:将果胚放入浓度 22% 的食盐水中进行腌渍。
- (3) 脱盐:采用真空旋转蒸发的方法去除果胚中食盐含量。
- (4) 糖渍:采用真空渗糖、蒸汽加压和热渗糖技术使果胚中的含糖量 ≤ 45%。

(5) 热泵干燥:设定热泵干燥机的参数:热泵干燥风速为 5 m/s。

1.2.2 单因素试验设计 影响热泵干燥的因素有很多,为研究不同因素对热泵干燥的影响,分别对干燥温度、平铺密度、相对湿度进行单因素试验。

(1) 干燥温度的影响:在平铺密度为 0.85 g/cm<sup>2</sup>,相对湿度为 50% 的条件下,研究干燥温度(35, 42, 49, 56, 63 °C)对佛手凉果干燥速率、质构及色泽的影响。

(2) 平铺密度的影响:在干燥温度为 48 °C,相对湿度为 40% 的条件下,研究平铺密度(0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 0.95 g/cm<sup>2</sup>)对佛手凉果干燥速率、质构及色泽的影响。

(3) 相对湿度的影响:在平铺密度为 0.85 g/cm<sup>2</sup>,干燥温度为 49 °C 的条件下,研究相对湿度(10%, 20%, 30%, 40%, 50%)对佛手凉果干燥速率、质构及色泽的影响。

1.2.3 自然干燥和热风干燥样品的制备 每份取约 1 kg 的佛手凉果渗糖果胚,均匀铺到托盘上,分别进行自然干燥、热风干燥(温度 50 °C),直至水分含量为 25% 左右。

#### 1.2.4 指标测定

(1) 水分含量的测定:按 GB/T 5009.3—2003 执行,佛

手中果胚水分含量按式(1)计算:

$$W = \omega_1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

- W——佛手果胚干燥后水分含量,%;  
 $\omega_1$ ——佛手果胚干燥前水分含量,%;  
 $m_1$ ——佛手果胚干燥前的质量,kg;  
 $m_2$ ——佛手果胚干燥后的质量,kg。

(2) 干燥速率的测定:根据文献[18]的方法,按式(2)进行计算:

$$V_i = \frac{M_i + 1 - M_i}{T_{i+1} - T_i}, \quad (2)$$

式中:

- $V_i$ —— $i$ 时刻样品干燥速率,%;  
 $M_i$ —— $i$ 时刻样品含水量,%;  
 $M_{i+1}$ —— $i+1$ 时刻样品含水量,%;  
 $T_i$ —— $i$ 时刻,h;  
 $T_{i+1}$ —— $i+1$ 时刻,h。

(3) 色差的测定:根据文献[19]修改如下:采用美能达色差仪测定佛手干燥后产品的褐变情况。以佛手新鲜果肉作为色差的对照值。其中,  $\Delta E^*$  值越小,则表明在加工过程中色泽的变化越小。色差按式(3)计算:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (3)$$

式中:

- $\Delta E^*$ ——试样与鲜样之间的色差;  
 $L^*$ ——样品黑白程度;  
 $a^*$ ——样品红绿程度;  
 $b^*$ ——样品红蓝程度。

(4) 质构的分析:根据文献[20]修改如下:采用质构仪测定佛手凉果质构的指标。选用 A/W EG 型探头,测前速率:1 mm/s,测试速率:2 mm/s,测后速率:5 mm/s,压缩率 15%。

### 1.3 数据处理方法

试验中数据结果表示为平均值 ± SD。采用 Origin 8.0 进行软件作图,Spss 23.0 进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 热泵干燥单因素试验

2.1.1 干燥温度对佛手凉果的影响 由图 1 可知,在 35~63 °C 的干燥温度下,干燥速率均随着干燥时间的延长而显著下降 ( $P < 0.05$ );在相同干燥时间下,干燥速率随着干燥温度的增加呈现增加的趋势,在 1~5 h 时干燥速率的变化比较显著 ( $P < 0.05$ ),而后不再显著 ( $P > 0.05$ )。

由图 2 可知,在 35~63 °C 的干燥温度下,佛手凉果产品的水分含量均随着干燥时间的增加均呈显著下降 ( $P < 0.05$ ) 趋势,温度越高,其水分含量降低也越快,说明温度高时产品内自由水挥发的速度快;在干燥时间相同时,水分含量随着干燥温度的升高而呈现显著下降的趋势 ( $P < 0.05$ )。说明温度越高对水分含量的影响越大。

由表 1 可知,在试验范围内,温度对最终产品  $L^*$ 、 $b^*$  的影响不显著( $P>0.05$ ),且都随着温度的增加而呈现下降的趋势, $a^*$  值随着温度的增加呈现增加的趋势( $P<0.05$ );当温度达到 56 °C 时,佛手产品中  $L^*$ 、 $b^*$  及  $a^*$  值呈现显著下降( $P<0.05$ )的趋势,其中  $L^*$  下降至 22.51, $b^*$  下降至 15.33, $a^*$  值下降至 3.21。在 35~49 °C 时, $\Delta E^*$  值显著下降( $P<0.05$ );在 56~63 °C 时, $\Delta E^*$  值呈现显著上升( $P<0.05$ )的趋

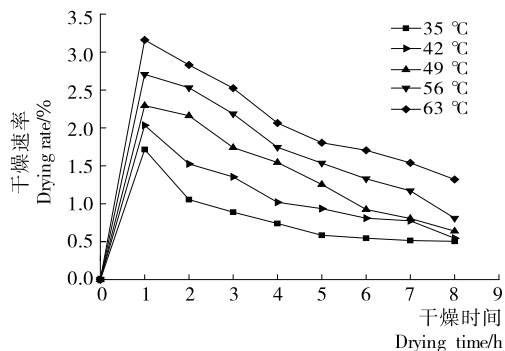


图 1 干燥温度对佛手凉果果胚干燥速率的影响

Figure 1 The effect of drying temperature on the drying rate of Bergamot-Plum

势。 $\Delta E^*$  值在温度为 49 °C 时最低(1.21),说明在此温度条件下,产品褐变不明显。而在对产品的质构进行测定时发现,随着温度的增加,产品的硬度也呈现逐渐增加的趋势,弹性逐渐减少,而咀嚼性则是先增加后减小。其中在 63 °C 时咀嚼性降为 15.50 g、弹性降为 1.89 mm、硬度增加至 29.85 g。综上所述:在干燥温度为 49 °C 时,经干燥后佛手凉果的色泽变化最小且质构最佳。

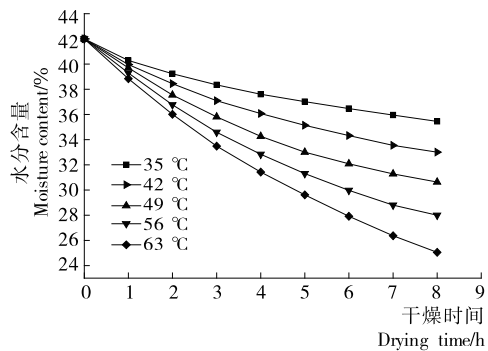


图 2 干燥温度对佛手凉果果胚水分含量的影响

Figure 2 The effect of temperature on the moisture content of Bergamot-Plum

表 1 干燥温度对佛手凉果质构及色泽的影响<sup>†</sup>

Table 1 The effects of different temperature on fruit color and texture of Bergamot-Plum

温度/°C	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
35	26.52±0.44 <sup>c</sup>	2.51±0.12 <sup>a</sup>	16.21±1.16 <sup>b</sup>	34.91±0.35 <sup>b</sup>	3.51±1.14 <sup>b</sup>	26.85±0.37 <sup>a</sup>	3.69±0.71 <sup>c</sup>
42	27.15±0.91 <sup>b</sup>	2.42±0.62 <sup>a</sup>	17.15±0.51 <sup>a</sup>	34.78±1.14 <sup>a</sup>	3.21±1.41 <sup>c</sup>	26.51±0.97 <sup>a</sup>	2.56±0.93 <sup>d</sup>
49	27.78±1.14 <sup>b</sup>	2.30±0.51 <sup>a</sup>	17.58±0.79 <sup>a</sup>	34.80±0.66 <sup>a</sup>	3.73±1.05 <sup>b</sup>	25.17±1.25 <sup>a</sup>	1.21±0.58 <sup>e</sup>
56	27.92±0.61 <sup>b</sup>	2.11±0.31 <sup>a</sup>	16.14±0.63 <sup>b</sup>	34.81±0.36 <sup>c</sup>	4.86±0.51 <sup>a</sup>	20.31±0.79 <sup>a</sup>	5.78±0.75 <sup>b</sup>
63	29.85±0.81 <sup>a</sup>	1.89±0.26 <sup>b</sup>	15.50±0.95 <sup>c</sup>	22.51±1.56 <sup>d</sup>	3.21±1.42 <sup>c</sup>	15.33±1.61 <sup>b</sup>	12.16±0.85 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

2.1.2 相对湿度对佛手凉果干燥的影响 由图 3 可知,在相对湿度一定的条件下,随着干燥时间的延长佛手果胚的干燥速率下降显著( $P<0.05$ );在干燥时间一定的条件下,随着相对湿度的增加佛手果胚的干燥速率呈现逐渐减少的趋势,在 1~4 h 时,随着相对湿度的增加对佛手果胚的干燥速率影响显著( $P<0.05$ );在 6~8 h 时,随着相对湿度的增加其对样品的干燥速率影响不显著( $P>0.05$ )。

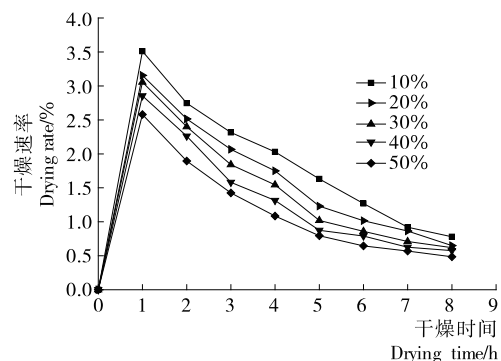


图 3 相对湿度对佛手凉果果胚干燥速率的影响

Figure 3 The effect of relative humidity on the moisture rate of Bergamot-Plum

由图 4 可知,在相对湿度一定的条件下,随着干燥时间的延长佛手果胚中的水分含量呈现显著下降( $P<0.05$ )的趋势;在干燥时间一定时,水分含量随着相对湿度的增加而下降( $P>0.05$ )。

由表 2 可知,在相对湿度为 10%~20%时,凉果产品的  $L^*$  值和  $b^*$  值随着相对湿度的增加显著增加( $P<0.05$ ),而  $a^*$  值的绝对值和  $\Delta E^*$  值增加不显著( $P>0.05$ )。在相对湿度

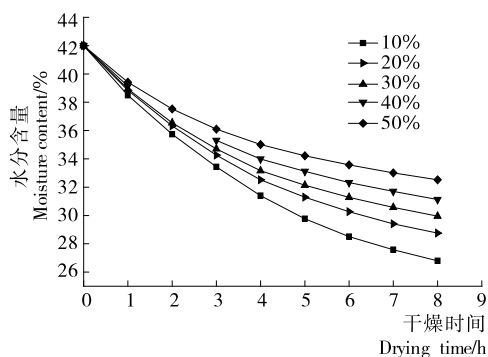


图 4 相对湿度对佛手凉果果胚水分含量的影响

Figure 4 The effect of relative humidity on the moisture content of Bergamot-Plum

表2 相对湿度对佛手质构及色泽的影响<sup>†</sup>

Table 2 The effect of relative humidity on the color and texture of Bergamot-Plum

湿度/%	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	<i>L</i> <sup>*</sup>	<i>a</i> <sup>*</sup>	<i>b</i> <sup>*</sup>	$\Delta E$ <sup>*</sup>
10	25.52±1.12 <sup>c</sup>	2.84±0.16 <sup>a</sup>	14.21±0.45 <sup>c</sup>	30.11±0.13 <sup>c</sup>	-4.10±0.93 <sup>a</sup>	27.56±0.27 <sup>b</sup>	2.64±0.45 <sup>a</sup>
20	26.23±0.83 <sup>b</sup>	2.67±0.22 <sup>a</sup>	15.12±0.22 <sup>b</sup>	31.27±0.14 <sup>b</sup>	-4.25±0.43 <sup>a</sup>	28.88±0.91 <sup>a</sup>	2.98±0.28 <sup>a</sup>
30	26.88±0.38 <sup>b</sup>	2.51±0.42 <sup>a</sup>	17.88±0.41 <sup>a</sup>	31.88±0.21 <sup>b</sup>	-4.51±0.57 <sup>a</sup>	27.89±1.31 <sup>b</sup>	1.41±0.22 <sup>b</sup>
40	27.09±0.83 <sup>b</sup>	2.04±0.18 <sup>b</sup>	18.22±0.35 <sup>a</sup>	32.50±0.65 <sup>a</sup>	-4.34±0.46 <sup>a</sup>	27.67±0.38 <sup>b</sup>	1.28±0.65 <sup>b</sup>
50	28.72±0.57 <sup>a</sup>	1.72±0.47 <sup>c</sup>	18.57±0.56 <sup>a</sup>	31.15±0.53 <sup>b</sup>	-3.82±0.41 <sup>b</sup>	26.54±1.32 <sup>c</sup>	2.91±0.16 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

为30%~50%时,*L*<sup>\*</sup>值随着相对湿度的增加先增加后减小(P<0.05),*a*<sup>\*</sup>值的绝对值与*b*<sup>\*</sup>值呈现降低的趋势,其中,在相对湿度为40%时, $\Delta E$ <sup>\*</sup>值最小(1.28)。在相对湿度为20%~40%时,随着相对湿度的增加,硬度逐渐增加,咀嚼性也随之增加,弹性逐渐下降。在产品褐变变化最小时,其质构指标分别为:硬度27.09 g,弹性2.04 mm,咀嚼性18.22 g。综上可得:在热泵干燥的相对湿度为40%时,得到产品的色泽变化值最小,且产品的硬度、弹性适中。

2.1.3 平铺密度对佛手凉果干燥的影响 由图5可知,在平铺密度一定的条件下,产品的干燥速率值均随着干燥时间的延长而显著下降(P<0.05)。在干燥时间一定时,干燥速率随着平铺密度的增加而减少,其中2~8 h时干燥速率显著减小(P>0.05)。

由图6可知,在平铺密度一定时,随着干燥时间的延长佛手产品的水分含量显著下降(P<0.05);在干燥时间一定时,随着平铺密度的增加果胚的水分含量也呈现增加的趋

势,其中5~8 h时水分含量的变化显著(P<0.05)。

由表3可知,平铺密度为0.75~0.85 g/cm<sup>2</sup>时,凉果产品的*L*<sup>\*</sup>、*b*<sup>\*</sup>值、*a*<sup>\*</sup>的绝对值、 $\Delta E$ <sup>\*</sup>值均呈现增加的趋势(P>0.05);当平铺密度为0.75 g/cm<sup>2</sup>时, $\Delta E$ <sup>\*</sup>值最小(1.21);在平铺密度达到最大值(0.95 g/cm<sup>2</sup>)时,产品的色泽加深,可能是褐变发生明显所导致。质构结果表明,随着平铺密度的增加,佛手果胚的硬度、咀嚼性也随之增加,但弹性却是先减小后增加,而在平铺密度为0.65,0.75 g/cm<sup>2</sup>时,凉果产品的硬度显著增加(P>0.05),弹性显著下降(P>0.05)。综合以上分析,当平铺密度为0.75 g/cm<sup>2</sup>时,物料色泽变化最小,质构较好,干燥效果最佳。

2.2 不同干燥方式的对比

由表4可知,与日晒干燥技术和热风干燥技术相比,热泵干燥技术耗时分别缩短了72.73%,40.00%。在对质构进行对比时发现,不同干燥方式得到产品的硬度、咀嚼性及弹性均有显著差异(P<0.05),且经热泵干燥后产品的硬度适

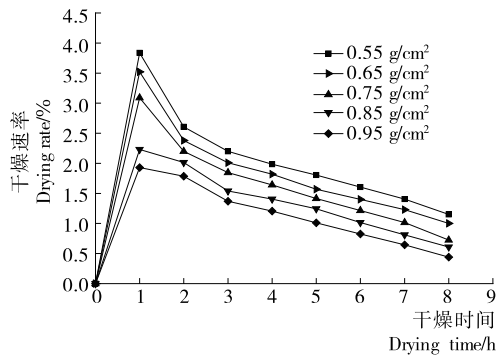


图5 平铺密度对佛手凉果果胚干燥速率的影响  
Figure 5 The effect of tile density on the drying rate of Bergamot-Plum

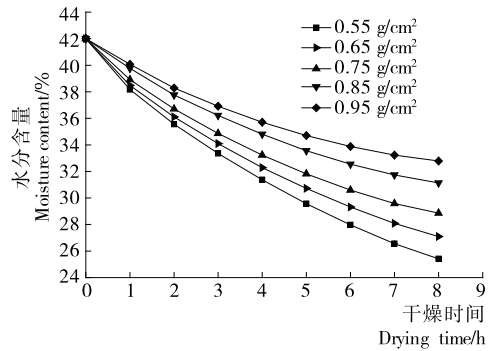


图6 平铺密度对佛手凉果果胚水分含量的影响  
Figure 6 The effect of tile density on the moisture content of Bergamot-Plum

表3 平铺密度对佛手凉果色泽及质构的影响<sup>†</sup>

Table 3 The effect of tile density on the color and texture of Bergamot-Plum

平铺密度/(g·cm <sup>-2</sup> )	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	<i>L</i> <sup>*</sup>	<i>a</i> <sup>*</sup>	<i>b</i> <sup>*</sup>	$\Delta E$ <sup>*</sup>
0.55	21.15±0.91 <sup>c</sup>	3.87±0.62 <sup>a</sup>	15.67±0.79 <sup>c</sup>	30.72±0.33 <sup>b</sup>	6.15±0.76 <sup>a</sup>	28.92±0.84 <sup>a</sup>	2.81±0.56 <sup>a</sup>
0.65	23.29±1.21 <sup>b</sup>	2.51±0.28 <sup>b</sup>	17.21±0.79 <sup>c</sup>	31.57±0.76 <sup>b</sup>	5.33±0.76 <sup>a</sup>	27.54±0.72 <sup>a</sup>	2.33±0.54 <sup>b</sup>
0.75	24.54±0.52 <sup>b</sup>	2.07±0.15 <sup>b</sup>	18.05±0.31 <sup>b</sup>	31.89±0.58 <sup>a</sup>	-4.21±0.32 <sup>b</sup>	26.33±1.42 <sup>b</sup>	1.21±0.16 <sup>b</sup>
0.85	27.09±0.83 <sup>a</sup>	2.04±0.18 <sup>b</sup>	18.22±0.35 <sup>b</sup>	32.50±0.65 <sup>a</sup>	-4.34±0.46 <sup>b</sup>	27.67±0.38 <sup>b</sup>	1.28±0.65 <sup>b</sup>
0.95	27.79±1.24 <sup>a</sup>	2.33±0.76 <sup>b</sup>	19.51±1.02 <sup>a</sup>	30.06±0.19 <sup>b</sup>	-4.56±1.01 <sup>b</sup>	27.88±1.22 <sup>a</sup>	2.47±0.62 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 4 不同干燥方式对佛手凉果产品质构及色泽的影响<sup>†</sup>

Table 4 The effect of three drying methods on the color and texture of Bergamot-Plum

干燥方式	干燥耗时/h	水分含量	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/g	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
日晒干燥	22 <sup>a</sup>	25.87±0.65 <sup>a</sup>	13.25±1.16 <sup>c</sup>	1.75±0.11 <sup>a</sup>	12.41±0.63 <sup>c</sup>	31.58±1.15 <sup>a</sup>	6.33±1.25 <sup>a</sup>	27.31±1.47 <sup>a</sup>	2.74±0.13 <sup>a</sup>
热风干燥	10 <sup>b</sup>	25.01±0.16 <sup>a</sup>	15.35±1.03 <sup>a</sup>	1.54±1.01 <sup>b</sup>	13.74±1.41 <sup>b</sup>	30.68±1.55 <sup>b</sup>	6.19±1.15 <sup>a</sup>	27.28±1.37 <sup>a</sup>	2.45±0.29 <sup>b</sup>
热泵干燥	6 <sup>c</sup>	25.41±0.52 <sup>a</sup>	14.13±0.61 <sup>b</sup>	1.23±0.43 <sup>c</sup>	14.47±1.05 <sup>a</sup>	30.17±0.76 <sup>b</sup>	5.75±0.60 <sup>b</sup>	25.52±0.52 <sup>b</sup>	2.03±0.27 <sup>c</sup>

† 同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

中,咀嚼性较好。在对其色泽进行比较时,发现在经热泵干燥后,产品的 $\Delta E^*$ 值最低( $2.03 \pm 0.27$ ),研究表明, $\Delta E^*$ 值越小,则产品在干燥过程中颜色的变化也最小,而热风干燥及日晒干燥中 $\Delta E^*$ 值很大,原因可能是干燥耗时较长,从而导致产品发生褐变,颜色加深。综上可知,热泵干燥的效率,所得产品质量优于热风干燥及自然日晒干燥。

### 3 结论

本试验结果表明,在干燥温度  $49\text{ }^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $40\%$ ,平铺密度  $0.75\text{ g/cm}^2$  的干燥条件下,佛手果胚中水分含量降低至  $25.41\%$  仅需  $6\text{ h}$ 。在干燥至水分含量相同时,采用热泵干燥方法比热风干燥方法耗时缩短  $4\text{ h}$ ,比自然干燥缩短  $16\text{ h}$ 。与其他 2 种干燥方式相比,经热泵干燥后样品的色泽均较好,且无褐变现象发生,其中, $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值均呈现降低的趋势, $\Delta E^*$  值为最小;热泵干燥后得到产品的硬度适中,弹性也较好,也宜咀嚼。本试验探明了热泵干燥技术的不同干燥条件对产品色泽及质构的影响,解决了凉果干燥时间长、产品色泽差等问题,但本试验尚未对干燥机理进行进一步的研究,还有待后续更深层次的讨论。

### 参考文献

- [1] 赵秀玲. 佛手生理活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 393-398.
- [2] 魏玉君, 邵邻相, 麻艳芳, 等. 佛手叶挥发油的成分分析及生物活性研究[J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2014(3): 329-333.
- [3] 尹锋, 娄凤昌. 佛手化学成分的研究[J]. 中国药学杂志, 2004, 39(1): 20-21.
- [4] 钟艳梅, 田庆龙, 肖海文, 等. 不同产地佛手药材的化学成分比较研究[J]. 中南药学, 2014(1): 63-66.
- [5] 任西营, 张献忠, 武晓丹, 等. 复合酶酶解佛手工艺及增香效果研究[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(1): 59-63.
- [6] 张娜. 佛手在开发保健食品中的应用研究进展[J]. 山东化工, 2016, 45(11): 51-52.
- [7] 陈跃文, 顾振宇, 刘辉, 等. 佛手酥加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 109-113.
- [8] 陈俊昌, 李远志. 佛手凉果加工技术[J]. 农村实用工程技术, 1995(1): 38-38.
- [9] 贾敏, 丛海花, 薛长湖, 等. 鲍鱼热风干燥动力学及干燥过程数学模拟[J]. 食品工业科技, 2012(3): 72-73.
- [10] 申晓曦, 李沛生, 刘伟涛. 不同干燥方法对干湿梅理化性质的影响研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(12): 1 305-1 308.
- [11] 曾令可, 税安泽. 陶瓷工业实用干燥技术与实例[M]. 北京: 化

学工业出版社, 2008: 12.

- [12] 李沛生, 刘伟涛, 李丹丹, 等. 糖渍加应子的热风干燥特性及其表达模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 330-335.
- [13] 谢建. 太阳能利用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 189.
- [14] 章斌, 侯小桢, 王泽彬. 正交试验法优化真空冷冻干燥佛手的微波预处理工艺[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 3 060-3 062.
- [15] SHI Qi-long, XUE Chang-hu, ZHAO Ya, et al. Optimization of processing parameters of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87: 74-81.
- [16] ARTNASEAW A, THEERAKULPISUT S, BENJAPIYA-PORN C. Drying characteristics of Shiitake mushroom and Jinda chili during vacuum heat pump drying[J]. Food and Bio-products Processing, 2010, 88(2/3): 105-114.
- [17] HII C L, LAWA C L, SUZANNAH S. Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108: 276-282.
- [18] FALADE K O, ABBO E S. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(2): 724-730.
- [19] SUN V Z, PARAMAN I, RIZVI S S H. Supercritical fluid extrusion of protein puff made with fruit pomace and liquid whey [J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(8): 1-9.
- [20] 刘伟涛, 李沛生, 杨姗姗, 等. 广式凉果加应子缓苏干燥特性研究[J]. 食品科学, 2009(12): 107-109.

(上接第 83 页)

- [2] 张磊. 我国食品安全犯罪刑事立法政策反思[J]. 学术探索, 2014(10): 31-35.
- [3] 全其宪. 食品安全犯罪的立法分析[J]. 理论探索, 2014(3): 113-119.
- [4] 李彬, 张爱娥. 食品安全刑法保护制度的缺陷与完善[J]. 人民论坛, 2016(2): 124-126.
- [5] 曾丽. 食品安全法律体系的缺陷与完善路径[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 274-276.
- [6] 霍聪颖. 论我国食品安全犯罪的刑法规制: 以风险社会理论为切入点[D]. 重庆: 重庆大学, 2015: 28-30
- [7] 李兰英, 周微. 论惩治危害食品安全犯罪的刑事政策[J]. 中国刑事法杂志, 2013(3): 41-47.
- [8] 吴喆, 任文松. 论食品安全的刑法保护: 以食品安全犯罪本罪的立法完善为视角[J]. 中国刑事法杂志, 2011(10): 55-59.