

# 微波-热风联合干燥在芒果果脯加工中的应用

张强<sup>1,2</sup>, 邓酥萍<sup>1</sup>, 张娜英<sup>1</sup>, 李露<sup>1</sup>, 周裔彬<sup>1,2,\*</sup>

(1. 安徽农业大学 茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036; 2. 安徽省农产品加工工程实验室, 安徽 合肥 230036)

**摘要:**以水仙芒为原料,探索芒果果脯加工的新干燥方法,并进一步研究微波-热风联合干燥芒果果脯的工艺条件。分别研究微波功率、转换点含水率以及热风温度3个因素对芒果果脯感官评价的影响,然后采用三因素三水平Box-Behnken设计对芒果果脯的干燥工艺进行优化改良。结果表明,微波与热风联合干燥芒果果脯的最优干燥工艺条件参数为:微波功率395 W、转换点含水率64%、热风温度55℃。

**关键词:**芒果;果脯;响应面法;微波-热风联合干燥;工艺优化

## Application of Microwave-Hot Air Combined with Drying in Processing Preserved Mango

ZHANG Qiang<sup>1,2</sup>, DENG Su-ping<sup>1</sup>, ZHANG Na-ying<sup>1</sup>, LI Lu<sup>1</sup>, ZHOU Yi-bin<sup>1,2,\*</sup>

(1. College of Tea and Food Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China;  
2. Anhui Engineering Laboratory for Agroproducts Processing, Hefei 230036, Anhui, China)

**Abstract:** A new drying method of preserved mango was studied with narcissus mango as raw material, and the technology of microwave-hot air combined drying of preserved mango was further studied. Microwave power, moisture content at conversion point and hot air temperature on sensory evaluation of preserved mango were studied respectively. Then, the drying process of preserved mango was optimized by using three factors and three levels Box-Behnken design. The results showed that the optimum drying process parameters of microwave combined with hot air were: microwave power 395 W, conversion point moisture content 64%, hot air temperature 55℃.

**Key words:** mango; preserved fruits; response surface method; combined microwave and hot air drying; process optimization

引文格式:

张强, 邓酥萍, 张娜英, 等. 微波-热风联合干燥在芒果果脯加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(14): 104-109  
ZHANG Qiang, DENG Suping, ZHANG Naying, et al. Application of Microwave-Hot Air Combined with Drying in Processing Preserved Mango[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 104-109

芒果是热带地区的一种名贵水果,以其良好的形、色、香、味而闻名于世,享有“热带水果之王”的美誉<sup>[1]</sup>,但其耐贮藏性相对于一般的水果较差,而且芒果是具有较为旺盛的采后生理代谢状态的一种水果,采摘后极易进入后熟软化状态,从而硬度加速下降,芒果

不易贮藏的主要生理因素就在于此。同时在芒果的生长成熟过程中,环境中的微生物等十分容易侵害或污染到芒果本身,故而在采后的贮藏、运输以及销售过程中极易造成大量的腐败变质,损失严重<sup>[2-4]</sup>。

因此,芒果的深加工变得尤为重要。将新鲜芒果进行深加工不仅能够使芒果的经济附加值得以提高,延长芒果的产业链,并且能增加商品品类的数量,为人们提供更多选择<sup>[5]</sup>。在干燥工艺中,脱水干燥是农产品长期贮藏的一项重要技术手段。一般来说,芒果的干燥方法主要是以热风干燥为主,其优势为操作工艺

基金项目:安徽省科技攻关项目(1704a07020098)

作者简介:张强(1975—),男(汉),讲师,硕士,研究方向:农产品加工技术与装备。

\*通信作者:周裔彬(1967—),男,教授,研究方向:食品化学及农产品加工。

较为简单、投资成本较少,但热风干燥法也存在干燥时间相对较长、效率降低、果脯的品质可能会有一定程度的下降等缺点。

微波其本身具有很强的穿透性,可以做到内外同时加热被干燥的物体,当利用微波进行加热时,不会出现内生外熟的状况,其不需要热传导,所以微波加热的加热速度是极快的,而且不论被加热的物体是何形状,因为微波穿透性极强,所以可以做到被加热物体的内外温度几乎保持一样,加热均匀,极大地缩短了干燥时间,提高了干燥物体的质量以及脱水的效果<sup>[6-8]</sup>。数年来,微波干燥技术发展日新月异,因其具有干燥速度较快、节约能源消耗、操作简单方便、无污染等优点,在食品加工工业中得到了广泛地应用与推广<sup>[9]</sup>。本研究为了提高干燥芒果果脯的效率、缩短干燥芒果果脯的时间、提高产品的质量,故而将微波干燥工艺和热风干燥工艺联合起来使用,使其优势互补,从而期望其能够对实际生产操作提供一定的依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

八成熟新鲜的水仙芒、白砂糖、麦芽糖、糖霜:市售;氯化钙、柠檬酸(均为食品级):泉州市泉洋化工有限公司。

GZX-9246 MBE 鼓风干燥箱:上海博讯实业有限公司医疗设备厂;AEI-200 电子分析天平:陕西衡器厂;DK-98 电子调温万用电炉:天津市泰斯特仪器有限公司;CEM SAM-255 微波干燥仪:美国培安有限公司;WZ-103 手持式折光仪:浙江托普仪器有限公司;玻璃器皿等。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 工艺流程

选料→去皮、削核→切片→硬化→糖制→微波干燥→热风干燥→常温(25℃)冷却→裹糖霜→密封保存

#### 1.2.2 操作要点

##### 1.2.2.1 选料

采用八分熟、果实新鲜、外表无机械伤、果肉无粗纤维的水仙芒为原料,将之清洗干净<sup>[10]</sup>。

##### 1.2.2.2 去皮、削核

要求去皮后外表光滑,去皮厚度应不超过 1 mm。然后,将芒果切开,削去核。

##### 1.2.2.3 切分、硬化

将果肉立刻进行切分,每一枚芒果一般切成 5 片~6 片,要求大小、薄厚均匀一致,厚度约 6 mm,切分后

立即放入到浓度为 0.2 % 的氯化钙溶液中,浸泡 1 h 后捞出,漂洗干净。

##### 1.2.2.4 糖制

先糖腌,后糖煮。按照果肉:糖质量比为 100:40,一层果肉一层糖,糖量少上多,最上层以糖覆盖,腌渍 24 h~32 h。接着进行糖煮,将糖渍液置于锅中,加入 0.5 % 的柠檬酸,加热至沸腾状态,调整糖液浓度至 50 %~55 %,之后加入果肉煮制,煮制约 20 min,再按照果肉:麦芽糖质量比 100:10 加入麦芽糖煮制糖液浓度为 70 %,出锅,整个过程约为 40 min~50 min。

##### 1.2.2.5 干燥

首先将糖制好的芒果进行微波间歇性干燥,再将芒果转入热风干燥箱,干燥至其湿基含水率为 16 %~18 %,常温(25℃)静置冷却。

##### 1.2.2.6 裹糖霜

将冷却后的芒果果脯均匀裹上糖霜后在干燥状态下进行密封贮存<sup>[11]</sup>。

## 1.3 单因素和响应面试验设计

### 1.3.1 微波功率试验设计

做 5 组试验,微波功率分别设为 300、350、400、450、500 W。每组称取糖制好的芒果片 100 g,第一阶段进行微波干燥,干燥 1 min,间歇 1 min,直至转换点含水率为 60 % 停止,第二阶段热风干燥,热风温度为 55℃,干燥至湿基含水率为 16 %~18 % 停止干燥,记录干燥所用时间。

### 1.3.2 转换点含水率试验设计

做 5 组试验,转换点含水率分别设为 45 %、50 %、55 %、60 %、65 %。每组称取糖制好的芒果片 100 g,第一阶段进行微波干燥,微波功率设为 400 W,干燥 1 min,间歇 1 min,直至干燥至相应的转换点含水率,第二阶段进行热风干燥,热风温度设为 55℃,干燥至湿基含水率为 16 %~18 % 停止,记录干燥所用时间。

### 1.3.3 热风干燥温度试验设计

做 5 组试验,热风温度分别设为 40、45、50、55、60℃。每组称取糖制好的芒果片 100 g,第一阶段进行微波干燥,微波功率设为 400 W,干燥 1 min,间歇 1 min,干燥至转换点含水率为 60 % 停止,第二阶段用相应的热风温度干燥至湿基含水率为 16 %~18 % 停止,记录干燥所用时间。

### 1.3.4 响应面法优化微波与热风联合干燥试验

采用 Box-Behnken 中心组合试验设计进行优化改良研究,各因素的水平设计及编码见表 1,果脯评价标准见表 2。

表 1 试验因素水平编码表

Table 1 Horizontal coding table of test factors

| 水平 | 因素       |            |          |
|----|----------|------------|----------|
|    | A 微波功率/W | B 转换点含水率/% | C 热风温度/℃ |
| -1 | 350      | 55         | 50       |
| 0  | 400      | 60         | 55       |
| 1  | 450      | 65         | 60       |

表 2 普通果脯感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for preserved fruit

| 项目           | 产品品质                        | 分值    |
|--------------|-----------------------------|-------|
| 颜色光泽<br>20 分 | 颜色金黄,均匀一致,有光泽度              | 16~20 |
|              | 颜色偏暗,不均一,有一定的光泽度            | 12~15 |
|              | 颜色暗黑,不均一,没有光泽度              | 0~11  |
| 滋味口感<br>60 分 | 酸甜适口,有香浓的芒果风味,口感软硬适中,有一定的嚼劲 | 50~60 |
|              | 过甜或偏淡,有芒果特有的风味,无异味,口感偏硬或偏软  | 30~49 |
|              | 芒果风味不浓,有轻微的异味,口感粗糙不适口       | 0~29  |
|              | 饱满度好,无干缩,无破损,不黏手            | 16~20 |
| 外在形状<br>20 分 | 有一定的饱满度,稍微有一点黏手,无返砂现象       | 12~15 |
|              | 饱满度差,干缩明显或严重                | 0~11  |

## 1.4 测定方法

### 1.4.1 湿基含水率的测定

湿基含水率计算公式<sup>[12-15]</sup>为:

$$w/c\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

式中: $w$  为芒果片的含水率,%; $m_0$  为芒果片的初始质量,g; $m_1$  为芒果片干燥后的质量,g。

### 1.4.2 转换点含水率的测定

转换点含水率计算公式为:

$$w_t/c\% = \frac{m_0 - m_t(1 - w_0)}{m_t} \times 100$$

式中: $w_t$  为  $t$  时刻转换点含水率,%; $m_t$  为  $t$  时刻芒果片的质量,g; $m_0$  为芒果片的初始质量,g; $w_0$  为芒果片初始含水率,%。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 微波功率对芒果干感官评价的影响

按方法 1.3.1 进行干燥试验,并参照表 2 对样品进行评分,结果如图 1 所示。

由图 1 可以看出,芒果干的感官评分随着微波功率的增大先增大后减少,其感官评价最高处时微波功

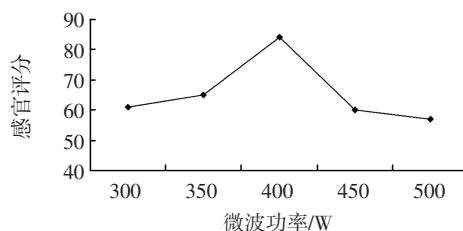


图 1 微波功率对感官评价的影响

Fig.1 Effect of microwave power on sensory evaluation

率为 400 W,超过 400 W 时其感官评价呈现下降趋势,原因在于随着微波功率的过分增大,芒果内部出现气泡或边缘处部分焦化现象。

#### 2.1.2 转换点含水率对芒果干感官评价的影响

按方法 1.3.2 进行干燥试验,并参照表 2 对样品进行评分,结果如图 2 所示。

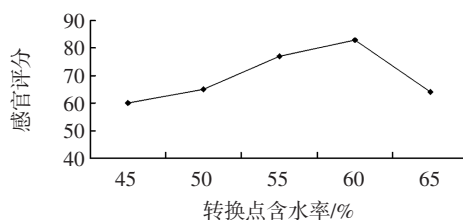


图 2 转换点含水率对感官评价的影响

Fig.2 Effect of moisture content at the transition point on sensory evaluation

结果如图 2 所示,芒果干的感官评价随着转换点含水率的增加呈现先增大后减少的趋势,在转换点含水率为 60 % 时,其感官评分最高。同时可以看出过低水分对其的影响较大,原因在于,微波加热时间较长,芒果容易发生褐变,对其色泽、气味影响较大。

#### 2.1.3 热风温度对芒果干感官评价的影响

按方法 1.3.3 进行干燥试验,并参照表 2 对样品进行评分,结果如图 3 所示。

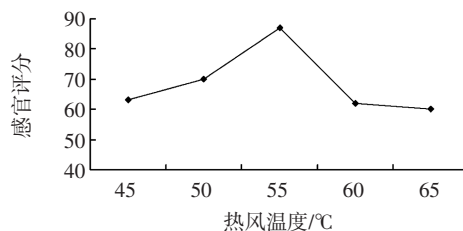


图 3 热风温度对感官评价的影响

Fig.3 Effect of hot air temperature on sensory evaluation

结果如图 3 所示,芒果干的感官评价随着热风温度的增加呈现先增大后下降的趋势,热风温度为 55 °C 时,其感官评价最高。热风温度较低,其干燥至安全含水率所需时间过长,芒果容易收缩,而温度过高,其表面有硬化现象,但内部过软。主要是因为干燥前期

是水分快速蒸发的阶段,样品内部的糖液随水分迁移到表面并形成了一层干硬膜<sup>[16-17]</sup>,从而出现外表硬化的现象。

2.2 响应面法优化与分析

根据表 1 的响应面因素水平编码表进行联合试验设计,按照表 3 相应的操作条件对糖制后的芒果片进行干燥,并进行感官评价测试,测试各批样品的色泽、滋味、外形,得出感官评价总值,数据经过整理后如表 4 所示。

表 3 响应面分析试验相关数据表

Table 3 Data tables related to response surface analysis and test

| 试验号 | 因素 |    |    | 感官评价总分 |
|-----|----|----|----|--------|
|     | A  | B  | C  |        |
| 1   | -1 | -1 | 0  | 58.80  |
| 2   | 1  | -1 | 0  | 49.44  |
| 3   | -1 | 1  | 0  | 67.43  |
| 4   | 1  | 1  | 0  | 58.82  |
| 5   | -1 | 0  | -1 | 54.41  |
| 6   | 1  | 0  | -1 | 47.65  |
| 7   | -1 | 0  | 1  | 53.83  |
| 8   | 1  | 0  | 1  | 54.23  |
| 9   | 0  | -1 | -1 | 51.47  |
| 10  | 0  | 1  | -1 | 66.95  |
| 11  | 0  | -1 | 1  | 59.87  |
| 12  | 0  | 1  | 1  | 69.43  |
| 13  | 0  | 0  | 0  | 74.21  |
| 14  | 0  | 0  | 0  | 76.14  |
| 15  | 0  | 0  | 0  | 77.00  |
| 16  | 0  | 0  | 0  | 75.29  |
| 17  | 0  | 0  | 0  | 74.82  |

表 4 感官评价

Table 4 Sensory evaluation

| 项目 | 色泽   | 滋味   | 外形   | 总分   |
|----|------|------|------|------|
| 1  | 12.2 | 36.0 | 10.6 | 58.8 |
| 2  | 8.6  | 30.8 | 10.0 | 49.4 |
| 3  | 12.8 | 41.0 | 13.6 | 67.4 |
| 4  | 9.8  | 38.2 | 10.8 | 58.8 |
| 5  | 13.4 | 27.4 | 13.6 | 54.4 |
| 6  | 11.6 | 24.8 | 11.2 | 47.6 |
| 7  | 9.0  | 34.2 | 10.6 | 53.8 |
| 8  | 9.8  | 34.6 | 9.8  | 54.2 |
| 9  | 9.0  | 34.2 | 8.2  | 51.4 |
| 10 | 14.0 | 40.8 | 12.1 | 66.9 |
| 11 | 12.8 | 36.7 | 10.3 | 59.8 |
| 12 | 14.5 | 40.0 | 14.9 | 69.4 |
| 13 | 14.1 | 44.8 | 15.3 | 74.2 |
| 14 | 15.6 | 45.8 | 14.7 | 76.1 |
| 15 | 15.4 | 50.2 | 11.4 | 77.0 |
| 16 | 15.4 | 45.3 | 14.5 | 75.2 |
| 17 | 15.2 | 44.8 | 14.8 | 74.8 |

2.2.1 最佳干燥工艺条件的确定

应用 Design-Expert 8.0.6 软件对优化试验数据进行多元回归拟合,得到感官评价(Y)对微波功率 A、转换点含水率 B、热风温度 C 的回归模型为: $Y=75.49-3.04A+5.38B+2.11C+0.19AB+1.79AC-1.48BC-13.13A^2-3.73B^2-9.83C^2$ 。

表 5 二次回归模型方差分析

Table 5 Analysis of variance of quadratic regression model

| 方差来源                          | 平方和      | 自由度 | 均方     | F 值    | P        | 显著性 |
|-------------------------------|----------|-----|--------|--------|----------|-----|
| 模型                            | 1 662.87 | 9   | 184.76 | 41.95  | <0.000 1 | **  |
| A                             | 73.99    | 1   | 73.99  | 16.80  | 0.004 6  | **  |
| B                             | 231.66   | 1   | 231.66 | 52.59  | 0.000 2  | **  |
| C                             | 35.62    | 1   | 35.62  | 8.09   | 0.024 9  | **  |
| AB                            | 0.14     | 1   | 0.14   | 0.032  | 0.863 3  |     |
| AC                            | 12.82    | 1   | 12.82  | 2.91   | 0.131 8  |     |
| BC                            | 8.76     | 1   | 8.76   | 1.99   | 0.201 3  |     |
| A <sup>2</sup>                | 726.41   | 1   | 726.41 | 164.91 | <0.000 1 |     |
| B <sup>2</sup>                | 58.73    | 1   | 58.73  | 13.33  | 0.008 2  |     |
| C <sup>2</sup>                | 406.63   | 1   | 406.63 | 92.32  | <0.000 1 |     |
| 残差                            | 30.83    | 7   | 4.40   |        |          |     |
| 失拟检验                          | 26.00    | 3   | 8.67   | 7.18   | 0.053 5  |     |
| 纯误差                           | 4.83     | 4   | 1.21   |        |          |     |
| 总误差                           | 1 693.70 | 16  |        |        |          |     |
| R <sup>2</sup>                | 0.981 8  |     |        |        |          |     |
| R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> | 0.958 4  |     |        |        |          |     |

注:\*\*P<0.01 差异极显著。

由表 5 可以看出,该模型的 P 值<0.000 1,说明该方差模型中的各项因素和响应值间的线性关系十分显著;该模型的相关系数为 R<sup>2</sup>=0.981 8,说明该模型的相关性显著,可以用此回归方程对不同干燥条件下的芒果果脯的感官评价进行预测<sup>[18-20]</sup>。根据上述数据分析得到芒果脯最佳干燥工艺参数为:微波功率 394.62 W、转换点含水率 63.55 %、热风温度 55.22 ℃。考虑到实际操作条件,对最佳工艺参数进行了修正:微波功率 395 W、转换点含水率 64 %、热风温度 55 ℃,并在此条件下进行验证试验,结果表明,此条件制得的芒果果脯颜色鲜亮,有浓郁的芒果风味,口感软硬适中。

2.2.2 干燥条件对感官评价的影响

可以从回归模型中一次项的方差分析中看出,所设置的 3 种干燥条件中影响芒果干的感官评价值的因素为:B>A>C,故而对感官评价值影响的大小依次为:转换点含水率>微波功率>热风温度,感官评价的变化最受转换点含水率所影响。

2.2.3 双因素对感官评价的影响

2.2.3.1 微波功率与转换点含水率交互作用

当干燥过程中热风温度固定时,微波功率与转换



点含水率交互作用对感官评价的影响如图 4。

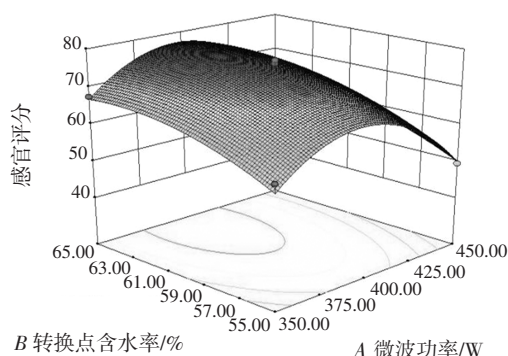


图 4 微波功率与转换点含水率交互作用对感官评价的影响响应面

Fig.4 Response surface diagram of the interaction between microwave power and moisture content at the conversion point on sensory evaluation

由图 4 可知,当固定热风温度时,芒果干的感官评价随着微波功率的增大而先增大后减小,随着转换点含水率的增大而增大,而且因为微波功率的曲线较陡,故而微波功率对感官评价的影响比转换点含水率显著。

#### 2.2.3.2 微波功率与热风温度交互作用

当干燥过程中转换点含水率固定时,微波功率与热风温度交互作用对感官评价的影响如图 5。

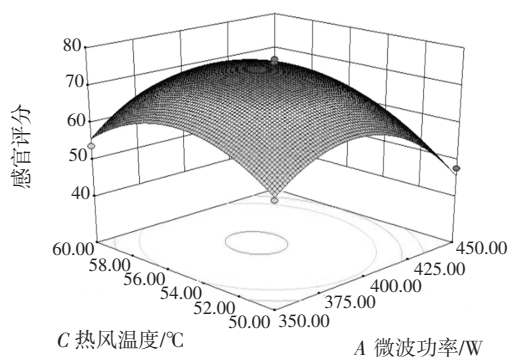


图 5 微波功率与热风温度交互作用对感官评价的影响的响应面图

Fig.5 Response surface diagram of the effect of interaction between microwave power and hot air temperature on sensory evaluation

由图 5 可知,当固定转换点含水率时,芒果干的感官评价随着微波功率的增大,先是增大趋势后呈减小趋势,随着热风温度的增大呈现出先增大后减小的趋势,而且因为微波功率曲线较陡,所以微波功率对感官评价的影响较热风温度显著。

#### 2.2.3.3 热风温度与转换点含水率交互作用

当干燥过程中微波功率为定值时,转换点含水率与热风温度的交互作用对感官评价的影响如图 6

所示。

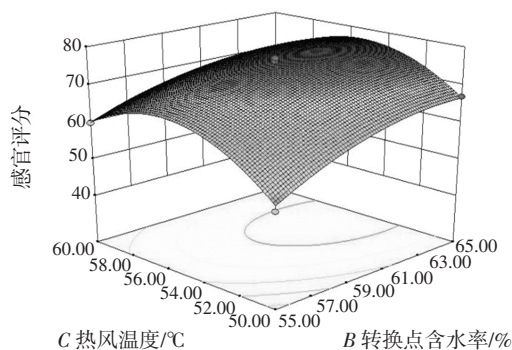


图 6 转换点含水率与热风温度交互作用对感官评价的影响的响应面

Fig.6 Response surface diagram of the interaction between moisture content at the transition point and thermal air temperature on sensory evaluation

从图 6 可以看出,当微波功率为定值时,芒果果脯的感官评价随着转换点含水率的增大而呈现增大的趋势,随着热风温度的增大而呈现先增大后减小的趋势,而且因为热风温度的状态曲线较陡,故而热风温度对感官评价的影响较转换点含水率显著。

### 3 结论

本研究运用三因素三水平 Box-Behnken 设计建立了微波与热风联合干燥芒果果脯的回归方程: $Y = 75.49 - 3.04A + 5.38B + 2.11C + 0.19AB + 1.79AC - 1.48BC - 13.13A^2 - 3.73B^2 - 9.83C^2$ ,  $R^2 = 0.9818$ , 确定影响芒果果脯感官评价高低的干燥因素顺序为: 转换点含水率 > 微波功率 > 热风温度。对芒果果脯微波与热风联合干燥工艺进行优化研究,得到最佳干燥工艺参数为:切片厚度 6 mm,前期微波功率 395 W,转换点含水率 64%,后期热风温度 55℃,在此条件下制得的芒果果脯颜色鲜亮,有浓郁的芒果风味,口感软硬适中。

当转换点含水率一定时,感官评价随着微波功率的增大先增大后减小,热风温度越高,芒果果脯失水速率越快,使样品质地干硬,有损于芒果果脯的适口感。

### 参考文献:

- [1] 潘清方,周国燕.真空冷冻干燥芒果片的工艺研究[J].安徽农业科学,2011,39(19): 11925-11927
- [2] 刘凤霞.基于超高压技术芒果汁加工工艺与品质研究[D].北京:中国农业大学,2014
- [3] 张昭其,吴锦铸,庞学群.杧果贮藏保鲜及加工新技术[M].北京:中国农业出版社,2000: 12
- [4] 吴振麟.芒果采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].安徽农学通报(上半月刊),2011,17(19): 82-84,135

- [5] 姜唯唯, 刘刚, 张晓喻, 等. 微波真空冷冻干燥对芒果干制品品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 49-52
- [6] Jaturonglumlert S, Kiatsiriroat T. Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(2): 254-260
- [7] 杨嘉鹏, 徐立军, 刘岩, 等. 农产品热风干燥装置的设计与试验[J]. 农机化研究, 2017, 39(9): 239-243
- [8] 苏许昌, 董浩杰, 岳华. 微波干燥技术在食品工业中的应用[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2018(6): 173-174
- [9] Salvatori D, Alzamora S M. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables[J]. Drying Technology, 2000, 18(1/2): 361-382
- [10] 徐艳阳, 杜烨, 宋佳, 等. 生姜片的热风与微波联合干燥工艺优化[J]. 中国调味品, 2016, 41(2): 13-19
- [11] 刘小丹, 徐怀德, 孙田奎, 等. 红枣微波-热风联合干燥工艺优化[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 98-102
- [12] Alibas I. Microwave, air and combined microwave - air-drying parameters of pumpkin slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1445-1451
- [13] Gowen A, Abu-Ghannam N, Frias J, et al. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 177-183
- [14] 徐艳阳, 张凡, 杜烨, 等. 糖姜片的微波与热风联合干燥工艺优化[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 85-91
- [15] 徐艳阳, 蔡森森, 吴海成, 等. 玉米热风与微波联合干燥品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(9): 18-20
- [16] 黄忠闯, 李全阳, 姚春杰, 等. 热风干燥和真空冷冻干燥芒果品质的比较研究[J]. 农业机械, 2011(26): 101-105
- [17] 杨志伟, 潘莹瑛. 响应面法优化远红外真空干燥芒果果脯[J]. 食品科技, 2013, 38(7): 102-105
- [18] Kim G D, Jung T C, Jung E Y, et al. Optimization of processing conditions for meat paper from beef semimembranosus muscle using response surface methodology[J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(1): 326-330
- [19] 孙元琳, 陕方, 宋俞, 等. 响应面分析法优化黑小麦全麦面包工艺配方研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2013, 28(5): 5-10
- [20] 王德静, 李磊. 响应面分析在荞麦玛咖饼干研制中的应用[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(11): 25-29

收稿日期: 2019-07-09

## 欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办, 国内外公开发行的食品专业科技期刊, 1980 年创刊, 半月刊, 采用国际流行开本大 16 开。其专业突出, 内容丰富, 印刷精美, 是一本既有基础理论研究, 又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录, 并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊(A)。主要栏目有: 基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2020 年定价: 30 元/册, 全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 301600。

(2) 银行汇款。开户银行: 工商银行静海支行, 行号: 102110000863。

账号: 0302095119300204171; 单位: 天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671