

## 不同干燥方式对五指毛桃品质的影响

桂青, 王秀全, 黄坚雄, 潘剑, 郑定华, 袁淑娜

### Effect of Different Drying Processes on the Quality of *Ficus hirta* Vahl.

GUI Qing, WANG Xiuquan, HUANG Jianxiong, PAN Jian, ZHENG Dinghua, and YUAN Shuna

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022050189>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 热风干燥温度对五指毛桃品质影响的研究

Effects of Hot-Air Drying Temperature on the Quality of *Ficus hirta* Vahl.

食品工业科技. 2021, 42(21): 249-261 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010005>

#### 五指毛桃的热风干燥特性及动力学模型

Hot Air Drying Characteristics and Dynamics Model of *Ficus hirta* Vahl.

食品工业科技. 2021, 42(8): 58-63 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060346>

#### 热风-远红外联合干燥肉脯的工艺优化及其品质研究

Optimization of Hot Air Assisted Far-Infrared Drying Parameters of Dried Meat Slice and Its Quality Research

食品工业科技. 2018, 39(20): 165-172 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.20.028>

#### 制茶工艺对白茶品质影响研究进展

Research Progress of Tea-making Technology on the Quality of White Tea

食品工业科技. 2021, 42(2): 333-337,344 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040181>

#### 前处理和干燥对马铃薯全粉品质影响的研究进展

Progress on the effects of pretreatment and drying on quality of potato flour

食品工业科技. 2018, 39(10): 347-351 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.064>

#### 中短波红外干燥白果的色泽变化预测及品质研究

Color Prediction and Quality Analysis of *Ginkgo biloba* Seeds under Medium and Short Wave Infrared Drying

食品工业科技. 2020, 41(12): 269-274,280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.044>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

桂青,王秀全,黄坚雄,等.不同干燥方式对五指毛桃品质的影响[J].食品工业科技,2023,44(6):58-65. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050189

GUI Qing, WANG Xiuquan, HUANG Jianxiong, et al. Effect of Different Drying Processes on the Quality of *Ficus hirta* Vahl. [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 58-65. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050189

· 研究与探讨 ·

# 不同干燥方式对五指毛桃品质的影响

桂 青<sup>1,2,3,\*</sup>, 王秀全<sup>1,2,3,\*</sup>, 黄坚雄<sup>1,2,3</sup>, 潘 剑<sup>1,2,3</sup>, 郑定华<sup>1,2,3</sup>, 袁淑娜<sup>1,2,3</sup>

(1.中国热带农业科学院橡胶研究所,海南海口 570100;

2.中国热带农业科学院林下资源综合利用研究中心,海南海口 570100;

3.农业农村部儋州热带作物科学观测试验站,海南儋州 570100)

**摘 要:**为比较晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥及 50 ℃ 热风干燥四种干燥方式对五指毛桃品质的影响,本研究采用高效液相色谱法、气质联用色谱法等方法,对晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥、50 ℃ 热风干燥后的五指毛桃中的补骨脂素、总多酚、总黄酮、可溶性糖以及挥发性成分进行了测定,对五指毛桃品质差异进行综合评价。结果表明,晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥及 50 ℃ 热风干燥分别将五指毛桃水分含量降低至 15% (安全储存水分含量) 所需的时间分别约为 22、19、15 和 12 h。不同干燥方式对五指毛桃中的活性成分和挥发性成分均有一定的影响,补骨脂素含量分别为 0.49、0.60、0.35 和 0.71 mg/g; 多酚含量分别为 1.50、3.95、1.44 和 1.59 mg/g; 黄酮含量分别为 3.91、4.65、1.19、1.55 mg/g; 可溶性糖含量分别为 94.95、83.83、86.76、82.19 mg/g; 气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析结果表明,晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50 ℃ 热风干燥的五指毛桃样品中挥发性成分相对含量分别为 75.20%、70.99%、57.18% 和 69.36%。在实际生产中,若天气晴好,采用晒干方式是最经济环保的干燥方式; 若遇阴雨天气,则可选用 50 ℃ 热风干燥。

**关键词:**五指毛桃,干燥,活性成分,挥发性成分,品质

中图分类号:TS255.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)06-0058-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050189

本文网刊:



## Effect of Different Drying Processes on the Quality of *Ficus hirta* Vahl.

GUI Qing<sup>1,2,3</sup>, WANG Xiuquan<sup>1,2,3,\*</sup>, HUANG Jianxiong<sup>1,2,3</sup>, PAN Jian<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Dinghua<sup>1,2,3</sup>, YUAN Shuna<sup>1,2,3</sup>

(1.Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, China;

2.Research Center for Utilization of Under-forest Resources, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, China;

3.Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Danzhou 571700, China)

**Abstract:** In order to comprehensive evaluate the quality of *Ficus hirta* Vahl., which were dried under sun, fumigated by sulfur dioxide, dried by vacuum freezing, and dried by hot air at 50 ℃, the contents of psoralen, total polyphenols, total flavones, soluble sugars and volatile components were determined by HPLC and GC-MS. The results showed that 22, 19, 15 and 12 h was needed to reduce the moisture content of *Ficus hirta* Vahl. to 15% (safe storage moisture content), respectively. When *Ficus hirta* Vahl. were dried by sun drying, sulfur dioxide fumigated drying, vacuum freezing drying and 50 ℃ hot air drying, the contents of psoralen were 0.49, 0.60, 0.35 and 0.71 mg/g, respectively. The content of total polyphenols were 1.50, 3.95, 1.44 and 1.59 mg/g, respectively. The content of total flavonoids were 3.91, 4.65, 1.19, 1.55 mg/g, respectively. The content of soluble sugars were 94.95, 83.83, 86.76, 82.19 mg/g, respectively. GC-MS results showed that the relative contents of volatile components were 75.20%, 70.99%, 57.18% and 69.36% respectively in the samples dried by sun-drying, fumigation-sulfur drying, vacuum freeze-drying and 50 ℃ hot-air drying. In actual production,

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 海南省自然科学基金 (321RC657); 海南省自然科学基金 (219QN319)。

作者简介: 桂青 (1987-), 女, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 林下作物产品加工, E-mail: ysgq1027@163.com。

\* 通信作者: 王秀全 (1975-), 男, 硕士研究生, 副研究员, 研究方向: 林下经济, E-mail: wangxqjialiuwx@126.com。

if the weather was fine, sun drying would be the most economical and environmentally friendly drying method. In case of overcast and rainy weather, 50 °C hot air drying would be used.

**Key words:** *Ficus hirta* Vahl.; drying; active component; volatile component; quality

五指毛桃, 是桑科植物粗叶榕(*Ficus hirta* Vahl.) 的根, 是我国华南地区著名的药食两用植物<sup>[1]</sup>。临床上, 五指毛桃在治疗脾虚浮肿、肺结核、盗汗、肝硬化、肝炎、癌症、支气管炎、贫血、慢性胃炎等方面疗效显著<sup>[2-3]</sup>; 民间以其作煲汤料, 香气浓郁, 深受客家人喜爱。

干燥过程是影响药材质量和药效的重要环节, 干燥结果直接影响着产品的使用和经济价值<sup>[4]</sup>。五指毛桃也不例外, 采收后需立即进行干燥防止霉变, 目前五指毛桃的采收干燥方法主要是晒干。晒干是传统药材产地初加工中的主要干燥方法, 但是晒干方法受天气的影响较大, 干燥周期长, 劳动强度大, 容易受到污染, 干制品的质量较低, 因此许多学者研究了不同干燥方法对药材品质的影响。据文献报道, 真空冷冻干燥和热风干燥也可以应用于药材干燥, 但根据不同材料以及需要保留的目标物不同, 选取的干燥方式有所差异, 如高良姜片在 80 °C 干燥时总酚和总黄酮含量最高, 70 °C 干燥时特征成分 1,8-桉叶素的相对含量最高<sup>[5]</sup>; 65 °C 时干燥大果山楂的维生素 C 和总酸保存率最高<sup>[6]</sup>; 冷冻干燥法则能最大程度保留天麻中的有效成分<sup>[7]</sup>; 金线兰在 60 °C 烘干时多糖与总黄酮含量最高<sup>[8]</sup>。目前关于不同干燥方法对五指毛桃品质影响的研究报道较少, 仅见桂青等<sup>[9]</sup>报道了不同的热风温度对五指毛桃品质的影响, 结果表明 50~60 °C 是较适宜的干燥温度。关于其它干燥方式对五指毛桃品质影响的研究未见报道。

本研究通过比较晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥, 以及热风干燥对五指毛桃中的补骨脂素、总多酚、总黄酮、总可溶性糖及挥发性风味物质含量的影响, 探究干燥方式对五指毛桃品质的影响, 为五指毛桃初加工提供一定的数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

实验所采用的五指毛桃 均采自中国热带农业科学院橡胶研究所林下资源综合利用试验示范基地橡胶林下, 三年生, 将直径为 0.5~1.5 cm 五指毛桃根切成长为 5 cm 的段, 备用; 补骨脂素标准品 纯度 ≥ 99.00%, 加拿大多伦多化学药品研究所; 焦性没食子酸标准品 (纯度 ≥ 98.00%)、硫磺 (分析纯) 国药集团化学试剂有限公司; 芦丁标准品 纯度 ≥ 98.00%, 中国计量科学研究院; 乙腈 色谱纯, 德国默克; 超纯水 实验室自制; 实验中所用其它试剂均为分析纯。

GZX-9240MBE 电热恒温鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; ME204E 电子天平 梅特勒-托利多(上海)有限公司; 211-101 数显外径千分

尺 桂林广陆数字测控股份有限公司; UV1102 紫外可见分光光度计 上海天美科学仪器有限公司; Agilent 1260 高效液相色谱仪、Agilent 7890B 气相色谱仪、Agilent 5977A 质谱仪 美国安捷伦科技有限公司; P30H 超声波清洗器 德国 Elma; 电烘培笼 (购自淘宝店) 中国。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 取五指毛桃段 6 kg, 分成 12 份, 每份 500 g, 采用晒干、熏硫、真空冷冻干燥和热风干燥四种不同的干燥方式, 每种干燥方式做三个重复实验。根据前期实验优化, 四种干燥方式的具体参数如下: 晒干(SD)样品在晴朗的天气晒至恒重, 温度变化范围为 29~31 °C, 空气相对湿度变化范围为 95%~97%; 熏硫干燥(SFD)样品按照 0.25%( $m_{\text{硫磺}}:m_{\text{样品}}$ ) 的比例用将硫磺置于电烘培笼底层, 熏蒸温度 90 °C, 样品置于网筛上平铺成单层, 加热熏蒸至样品干燥至恒重; 真空冷冻干燥(VFD)的样品置于真空冷冻干燥机样品室中, 冷阱温度 -56 °C, 真空度 1 Pa 的条件下冻干; 50 °C 热风干燥(50 °CHD)的样品置于 50 °C 的电热恒温鼓风干燥箱(风速 2.1 m/s, 初始环境相对湿度 50%)中, 平铺成单层, 干燥至恒重。

干燥后的样品粉碎, 过 100 目筛。称取 3.0000 g 样品于三角瓶中, 加入 30 mL 60% 的乙醇, 于 60 °C 超声功率 40 kHz 提取 30 min 后, 过滤并定容至 50 mL, 备用。

#### 1.2.2 指标的测定

1.2.2.1 干基含水率 干基含水率( $M_t$ )参考王凤贺等<sup>[10]</sup>的计算公式:

$$M_t = \frac{m_t - m_g}{m_g} \times 100$$

式中  $m_t$ —物料干燥  $t$  时刻的质量, g;  $m_g$ —物料干物质质量, g。

1.2.2.2 补骨脂素含量的测定 补骨脂素含量的测定见参考文献 [9], 具体以参数为色谱柱为 Agilent ZORBAX Eclipse Plus C<sub>18</sub>(460 mm×250 mm, 5 μm), 流动相为水:乙腈(V:V=55:45), 流速 1 mL/min, 柱温: 35 °C, 检测波长 245 nm, 进样体积: 10 μL。以补骨脂素浓度为纵坐标, 峰面积为横坐标, 绘制标准曲线, 根据  $y=0.0134x+0.5685(R^2=1)$  计算样品中补骨脂素含量。

1.2.2.3 总多酚含量的测定 采用 Folin-ciocalteu 法测定多酚含量<sup>[9]</sup>。准确称取 10.0 mg 焦性没食子酸, 用水溶解后定容到 100 mL, 配制成 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液。吸取 0、1.0、2.0、3.0、4.0 和 5.0 mL 焦性没食子酸标准溶液, 分别置于 10 mL 比



色管中,再加入 0.75 mL 福林酚试剂,摇匀,再加入 4 mL 15%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液,以蒸馏水定容至刻度,在 40 °C 下避光反应 2 h。以试剂为空白参比液,在 765 nm 波长处测定吸光度,以没食子酸浓度为横坐标,以吸光值为纵坐标建立标准曲线:  $y=75.547x+0.1882$  ( $R^2=0.9994$ ),取一定量的五指毛桃提取液,按上述操作测定其吸光度,计算样品中的多酚含量,以没食子酸当量表示。

**1.2.2.4 总黄酮含量的测定** 采用亚硝酸钠-硝酸铝法测定黄酮含量<sup>[9]</sup>。准确称取 100.0 mg 芦丁,用 60% 的乙醇溶解后定容到 100 mL,配制成 1 mg/mL 的芦丁标准溶液。吸取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 和 2.0 mL 的芦丁标准溶液,分别置于 10 mL 比色管,用 60% 乙醇溶液补至 5.0 mL,加入 1.0 mL 5% 亚硝酸钠溶液,振摇,放置 6 min,加入 1.0 mL 10% 硝酸铝溶液,摇匀后放置 6 min,加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液,用 60% 乙醇定容至刻度,摇匀,静置 15 min,以试剂为空白参比液,在 510 nm 波长处测定吸光度,以芦丁浓度为横坐标,吸光值为纵坐标建立标准曲线:  $y=739.42x-1.4813$  ( $R^2=0.9996$ )。取一定量五指毛桃黄酮提取液,按上述操作测定其吸光度,计算样品中的黄酮含量,并作样品对照,以芦丁当量表示。

**1.2.2.5 可溶性糖含量的测定** 可溶性糖的测定参考《果蔬采后生理生化实验指导》<sup>[11]</sup> 中的试验方法,略作修改:准确称取干燥后的样品 0.2 g,加入 50 mL 蒸馏水,用塑料薄膜封口,于沸水中煮沸提取 1 h,过滤后的滤液定容至 100 mL。提取液采用蒽酮-硫酸比色法进行测定。可溶性糖含量以葡萄糖当量来表示。

**1.2.2.6 挥发性风味成分的测定** 五指毛桃挥发性风味成分的测定见参考文献<sup>[9]</sup>。样品预处理方法:称取 2.00 g 五指毛桃样品在 70 °C 恒温水浴锅中顶空吸附 30 min,萃取到样品的纤维头于 250 °C 解析 1 min。

色谱条件:色谱柱(HP-5MS, 30 m×0.25 mm×0.25  $\mu\text{m}$ ),氮气流量:1 mL/min;进样口温度:250 °C。加热箱的起始温度为 40 °C,保持 3 min,以 3 °C/min 上升至 120 °C,再以 5 °C/min 上升至 200 °C,保持 3 min,分流比为 5:1。

质谱条件:接口温度为 280 °C,离子源温度为 230 °C,电离方式采用 70 eV 电子离子化模式,扫描范围 33~450 amu。

### 1.3 数据处理

本研究中的所有数据均为三次重复实验的平均值±标准差,采用 SPSS 22.0 软件进行显著性分析 ( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方式下五指毛桃的干燥曲线

由图 1 可知,五指毛桃在干燥过程中水分含量

逐渐降低,整个干燥过程中均为降速干燥。晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥、50 °C 热风干燥五指毛桃水分含量降低至 15%(安全储存水分含量)所需的时间约为 22、19、15 和 12 h,与晒干样品相比,干燥时间分别缩短了 13.64%、21.32% 和 45.45%。可见,熏硫干燥、真空冷冻干燥和热风干燥均能不同程度缩短干燥时间,这与彭亮等<sup>[12]</sup>报道的晒干远志筒所需时间较长,远大于热风干燥和冷冻干燥法,结果是一致的。传热和传质速率与物料和干燥介质之间的温度差和湿度差有关,温度差和湿度差越大,水分子动能越大,从而传热和传质速率加快<sup>[13]</sup>。晒干、熏硫干燥和 50 °C 热风干燥三种方式相比,由于晒干时间不能连续且温度差小、熏硫干燥时为保证硫磺蒸气能充分与物料接触,烘焙笼呈封闭状态,干燥过程湿度差小,而 50 °C 热风干燥时温度差和湿度差均最大,从而 50 °C 热风干燥所需时间最短,晒干和熏硫干燥时间较长。真空冷冻干燥技术是将含水物质在低温下冻结,而后使其中的水分在真空状态下直接由固相变为气相的干燥技术,干燥速率不仅与干燥温度、真空度还与物料的厚度有关。

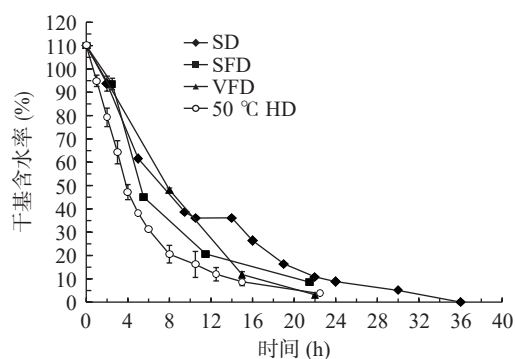


图 1 不同干燥方式下五指毛桃干燥曲线  
Fig.1 Drying curve of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes

### 2.2 干燥方式对补骨脂素含量的影响

本实验采用高效液相色谱法对晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥以及 50 °C 热风干燥的五指毛桃中的补骨脂素含量进行测定,结果表明不同方式干燥后补骨脂素含量间有显著差异 ( $P<0.05$ ) (图 2)。其中 50 °C 热风干燥时的补骨脂素含量最高为 0.71 mg/g,真空冷冻干燥后补骨脂素含量最低为 0.35 mg/g。利宇恒等<sup>[14]</sup>研究了 40~70 °C 热风烘干对北沙参中补骨脂素含量的影响,结果表明 50 °C 热风烘干处理的北沙参中补骨脂素含量最高,晒干的补骨脂素含量最低,该结果与本文中的结果相似。康明等<sup>[15]</sup>研究不同干燥方式无花果干质构及挥发性成分的影响,结果表明仅在热风干燥处理的无花果干中检测到补骨脂素,真空干燥和真空冷冻干燥样品中未检测到补骨脂素,这与本文中真空冷冻干燥后的样品中补骨脂素含量最低的结果具有相似性,这可能与补骨脂素在植物中的存在形式有关,样品的处理温度升高可减弱补骨脂素

与其他组分间的相互作用力,从而提高补骨脂素的提取率,另一种可能是低温对补骨脂素有破坏,从而导致提取过程中的损失增加,但目前仍无相关文献报道不同干燥方式或不同温度对补骨脂素含量的影响机制,因此,干燥方式对五指毛桃中补骨脂素含量的影响机制需进一步研究。

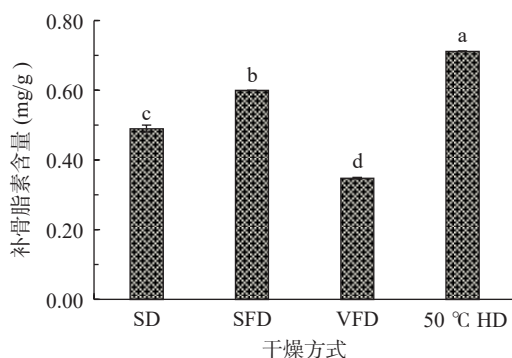


图 2 不同干燥方式下五指毛桃中补骨脂素的含量

Fig.2 Psoralen content of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes

注: 不同字母表示具有显著性差异,  $P < 0.05$ ; 图 3~图 5 同。

### 2.3 干燥方式对多酚含量的影响

由图 3 可以看出,晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50 °C 热风干燥五指毛桃样品中多酚含量分别为 1.50、3.95、1.44 和 1.59 mg/g,真空冷冻干燥和 50 °C 热风干燥的五指毛桃样品中多酚含量没有显著差异( $P > 0.05$ ),而两者与晒干和熏硫干燥的样品中多酚含量差异显著( $P < 0.05$ )。由结果可知,熏硫干燥下多酚的含量显著增加( $P > 0.05$ ),达到 3.95 mg/g。邓爱平等认为芳环上连有醚键的香豆素类成分在熏硫的过程中,醚键易断开,形成相应的酚<sup>[16]</sup>,这可能是导致熏硫干燥后五指毛桃中多酚含量急剧升高的因素之一。Dewanto 等<sup>[17]</sup>在 88 °C 时处理番茄,发现番茄中的多酚和黄酮在加工过程中没有显著变化。热加工过程虽然加速了细胞的破裂,但高温却能使氧化酶和水解酶钝化,因此,高温加工并不会导致多酚的降解,与本文结果一致。

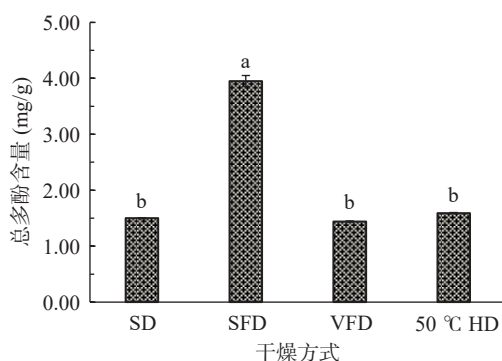


图 3 不同干燥方式下五指毛桃中多酚的含量

Fig.3 Total polyphenols content of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes

### 2.4 干燥方式对黄酮含量的影响

由图 4 可知,不同干燥方式对五指毛桃黄酮含

量有显著性影响,其中硫磺熏蒸后黄酮含量最高为 4.65 mg/g,其次是晒干样品中黄酮含量为 3.91 mg/g,真空冷冻干燥的样品中黄酮含量最低,为 1.19 mg/g,各处理间黄酮含量差异显著( $P < 0.05$ )。据报道葛根经过硫磺熏蒸后,发生了亚硫酸酯化反应,从而导致黄酮苷衍生物的含量升高<sup>[18]</sup>。这可能也是本研究中硫磺熏蒸样品中总黄酮含量升高的原因之一。文献报道,黄酮类化合物在干燥过程中受干燥温度和干燥时间的影响较大,随着干燥温度的升高损失逐渐增大,干燥时间过长损失也较多<sup>[19]</sup>,例如金银花在 40 °C 热风干燥时总黄酮含量最高,为 54.0721 mg/g,而 60 °C 热风干燥时最低,为 18.5333 mg/g<sup>[20-21]</sup>。虽然本研究中五指毛桃中总黄酮的变化与金银花中不一致,但是也可以看出,高温和长时间干燥也不利于总黄酮的保留。黄酮类化合物在植物主要以糖苷形式存在,仅少部分以游离苷形式存在,可能由于冷冻干燥对五指毛桃组织的破坏较小,增加了总黄酮的提取难度,因此含量相比 50 °C 热风干燥时低。

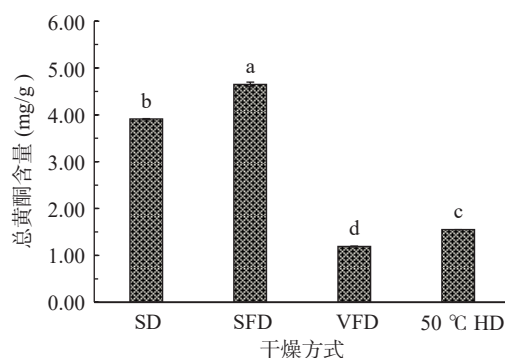


图 4 不同干燥方式下五指毛桃中黄酮的含量

Fig.4 Total flavonoids content of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes

### 2.5 干燥方式对可溶性糖含量的影响

由图 5 的结果表明晒干后五指毛桃中的可溶性糖含量最高为 94.95 mg/g,50 °C 热风干燥样品中可溶性糖含量最低为 82.19 mg/g,熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50 °C 热风干燥后五指毛桃中可溶性糖含量没有显著性差异( $P > 0.05$ ),与晒干样品中可溶性糖含

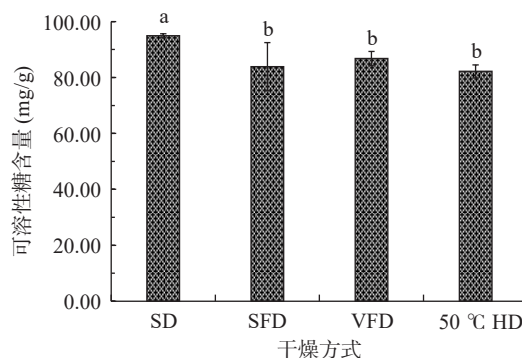


图 5 不同干燥方式下五指毛桃中可溶性糖的含量

Fig.5 Soluble polysaccharides content of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes

量差异显著( $P<0.05$ )。Alagbe 等<sup>[22]</sup> 研究干燥温度对香蕉中碳水化合物的影响,结果表明干燥温度升高有利于碳水化合物含量的保存。颜廷才等<sup>[23]</sup> 则发现一体化冻干比传统冻干和热风干燥能更好地保留榴莲中的可溶性糖,可能是因为其中的可溶性糖主要为蔗糖、葡萄糖、果糖和麦芽糖,还原糖较多,易受温度的影响。因此根据本文结果推测五指毛桃中可能含有一定量的还原糖,特别是在熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50℃ 热风干燥过程中导致还原糖发生反应而损失了。

## 2.6 干燥方式对挥发性成分的影响

通过 SPME-HS-GC-MS 共检测到五指毛桃样

品中挥发性化合物有 71 种(表 1),主要分为酸类、醛类、醇类、酯类、烷烃类、酮类、萜烯类、呋喃类、吡嗪类、萘类和芳香族类化合物。五指毛桃样品经过晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥、50℃ 热风干燥后挥发性成分的总相对含量分别为 75.20%、70.99%、57.18% 和 69.36%,但从检测到的挥发性物质数量来看,分别为 28、34、42 和 29 种。可见,真空冷冻干燥未经热加工,其中的挥发性物质数量最多,但总量最少。可能是因为在真空冷冻干燥过程中部分挥发性物质含量有所损失,但并未生成新的物质,而其他几种热加工方式不利于保留热不稳定的物质,并且在加热过程中还可能生成新的物质。

表 1 不同干燥方式下五指毛桃中挥发性成分的含量(相对含量, %)

Table 1 Content of volatile component of *Ficus hirta* Vahl. under different drying processes (relative content, %)

序号	名称	SD	SFD	VFD	50℃ HD
1	Acetic acid 乙酸	0.81±0.01	5.64±0.66	2.09±0.02	1.97±0.29
2	Hexanoic acid 己酸	24.44±6.79	11.01±1.37	12.25±0.13	6.71±0.92
3	Nonanoic acid 壬酸	—	—	1.03±0.00	—
4	Octanoic acid 辛酸	—	—	1.91±0.01	0.67±0.03
5	Butanal, 3-methyl- 3-甲基丁醛	0.43±0.00	0.95±0.05	—	—
6	Pentanal 戊醛	0.72±0.01	0.60±0.01	—	—
7	Hexanal 己醛	9.69±1.42	8.63±0.78	—	14.74±0.11
8	Heptanal 庚醛	2.20±0.11	2.28±0.19	—	—
9	2-Hexenal, (E)- 2-己烯醛, (E)-	0.21±0.00	0.20±0.00	—	—
10	Furfural 糠醛	—	1.08±0.00	—	—
11	Octanal 辛醛	3.12±0.01	2.22±0.04	1.14±0.00	3.29±0.03
12	2-Octenal, (E)- 2-辛烯醛, (E)-	3.71±0.00	3.49±0.01	—	—
13	2-Octenal, 2-butyl- 2-丁基-2-辛烯醛	1.52±0.00	1.20±0.02	2.21±0.03	0.44±0.33
14	Benzaldehyde 苯甲醛	—	1.39±0.00	0.80±0.00	1.75±0.05
15	Nonanal 壬醛	6.17±0.08	4.59±0.05	—	5.62±0.63
16	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl- 5-甲基呋喃醛	—	0.42±0.00	—	—
17	Decanal 癸醛	—	—	1.26±0.00	1.84±0.25
18	2,4-Nonadienal, (E,E)- (E,E)-2,4-壬二烯醛	—	—	0.21±0.00	0.29±0.01
19	2-Dodecenal 反-2-十二烯醛	—	—	0.53±0.00	0.56±0.00
20	2-Undecenal 2-十一烯醛	—	—	—	0.27±0.00
21	2,4-Decadienal, (E,E)- (E,E)-2,4-癸二烯醛	—	—	—	0.15±0.00
22	2,4-Heptadienal, (E,E)- (E,E)-2,4-庚二烯醛	—	—	0.19±0.00	0.15±0.00
23	Benzyl alcohol 苯甲醇	—	0.17±0.00	—	—
24	2-Furanmethanol 糠醇	—	—	0.13±0.00	—
25	1-Hexanol 1-己醇	—	—	0.36±0.00	—
26	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl- 丙位壬内酯	0.52±0.01	0.62±0.02	0.39±0.00	0.14±0.00
27	Hexanoic acid, methyl ester 己酸甲酯	1.00±0.01	0.83±0.02	—	—
28	Hexanoic acid, ethyl ester 己酸乙酯	0.20±0.00	—	0.57±0.00	—
29	Octanoic acid, methyl ester 辛酸甲酯	0.19±0.00	—	—	—
30	Methyl salicylate 水杨酸甲酯	1.99±0.02	2.78±0.10	—	—
31	Hexadecanoic acid, methyl ester 棕榈酸甲酯	—	—	0.06±0.00	—
32	Di-sec-butyl phthalate 邻苯二甲酸二仲丁酯	—	—	0.89±0.00	—
33	2(3H)-Furanone, 5-ethyldihydro- gamma-己内酯	1.55±0.17	—	—	—
34	Dodecane 十二烷	0.23±0.00	0.46±0.01	2.37±0.09	1.25±0.16
35	Cyclododecane 环十二烷	—	—	—	—
36	Tridecane 十三烷	0.81±0.01	2.58±0.27	3.97±0.09	—
37	Tetradecane 十四烷	0.65±0.00	1.71±0.02	0.96±0.0	0.70±0.02
38	Cyclotetradecane 环十四烷	—	—	0.13±0.00	—
39					

续表 1

序号	名称		SD	SFD	VFD	50℃ HD
40	Pentadecane	十五烷	—	0.56±0.00	0.18±0.00	—
41	Acetoin	3-羟基-2-丁酮	—	—	0.61±0.00	—
42	2,3-Octanedione	2,3-辛二酮	0.39±0.00	0.39±0.00	—	—
43	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	香叶基丙酮	—	—	0.51±0.00	0.34±0.00
44	3-Octen-2-one	3-辛烯-2-酮	0.58±0.00	—	—	—
45	trans-3-Nonen-2-one	3-壬烯-2-酮	—	—	—	0.39±0.05
46	3,5-Octadien-2-one	3,5-辛二烯-2-酮	—	—	0.56±0.00	0.65±0.01
47	2-Cyclopenten-1-one, 3,4,4-trimethyl-	3,4,4-三甲基-2-环戊烯-1-酮	—	—	0.37±0.00	0.31±0.00
48	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl	植酮	0.30±0.00	—	—	0.09±0.00
49	1,3,5,7-Cyclooctatetraene	环辛四烯	—	—	0.28±0.00	—
50	Seychellene	西车烯	—	1.16±0.04	0.54±0.00	—
51	Cedrene	雪松烯	—	0.48±0.00	—	—
52	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	—	—	—	0.48±0.00
53	Humulene	葎草烯	—	0.45±0.01	0.55±0.00	—
54	Cetene	Z-8-十六烯	—	0.46±0.00	—	0.02±0.00
55	1-Tetradecene	1-十四(碳)烯	—	—	0.29±0.00	—
56	Furan, 2-ethyl-	2-乙基呋喃	0.25±0.00	—	—	—
57	Furan, 2-pentyl-	2-戊基呋喃	8.60±0.46	6.48±0.16	5.85±0.06	7.22±0.30
58	Dibenzofuran	二苯并呋喃	—	0.15±0.01	—	—
59	Pyrazine, 2,3-dimethyl-	2,3-二甲基吡嗪	—	0.38±0.03	0.70±0.00	0.43±0.00
60	Pyrazine, trimethyl-	2,3,5-三甲基吡嗪	—	—	0.90±0.00	—
61	Pyrazine, tetramethyl-	2,3,5,6-四甲基吡嗪	—	—	7.90±0.01	17.89±0.30
62	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	3-乙基-2,5-甲基吡嗪	—	0.16±0.00	—	—
63	Naphthalene	萘	3.27±0.04	3.69±0.08	2.93±0.04	0.86±0.31
64	Naphthalene, 2-methyl-	2-甲基萘	1.34±0.00	1.90±0.06	0.71±0.00	0.13±0.00
65	Naphthalene, 2,6-dimethyl-	2,6-二甲基萘	—	—	0.03±0.00	—
66	Phenol, p-tert-butyl-	4-叔丁基苯酚	—	—	0.10±0.00	—
67	o-Xylene	邻二甲苯	—	—	0.29±0.00	—
68	Biphenyl	联苯	0.31±0.00	—	0.12±0.00	—
69	Indole	吲哚	—	—	0.19±0.00	—
70	Ethanone, 1,1'-(1,4-phenylene)bis-	1,4-二乙酰苯	—	—	0.12±0.00	—
71	Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	2-乙酰基吡咯	—	1.88±0.05	—	—
	Acids	酸类	25.25	16.65	17.28	9.35
	Aldehydes	醛类	27.77	27.05	6.34	29.10
	Alcohols	醇类	—	0.17	0.49	-
	Esters	酯类	5.45	4.23	1.91	0.14
	Alkanes	烷烃类	1.69	5.31	7.61	1.95
	Ketones	酮类	1.27	0.39	2.05	1.78
	Terpenes	萜烯类	—	2.55	1.66	0.51
	Heterocyclic	杂环类	13.46	7.17	15.35	25.54
	Others	其他类	0.31	7.47	4.49	0.99
	Total	合计	75.20	70.99	57.18	69.36

除真空冷冻干燥的样品以外,其他样品中相对含量最高的化合物均为醛类,而真空冷冻干燥的样品中相对含量最高的化合物为酸类。晒干样品、熏硫干燥样品中相对含量较高的 3 类物质均为醛类(27.77%、27.05%)、酸类(25.25%、16.65%)和呋喃类(8.85%、6.63%),分别占总挥发物的 82.28% 和 70.90%;冷冻干燥样品中相对含量较高的 3 类物质为酸类(17.28%)、吡嗪类(9.5%)和烷烃类(7.61%), 占总挥发物的 60.14%;50℃热风干燥样品中相对含量较高的 3 类物质为醛类(29.10%)、吡嗪类(18.32%)和酸类(9.35%), 占总挥发物的 81.85%。

由表 1 可知,在四种不同的干燥方式中,己酸是干燥后五指毛桃中挥发性成分里相对含量较高的物质,在晒干样品中相对含量最高为 24.44%,熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50℃热风干燥样品中相对含量分别为 11.01%、12.25% 和 6.71%;己醛在晒干、熏硫干燥和 50℃热风干燥样品中含量分别为 9.69%、8.63% 和 14.74%,真空冷冻干燥样品中未检出;壬醛在晒干、熏硫干燥和 50℃热风干燥样品中的相对含量分别为 6.17%、4.59% 和 5.62%,真空冷冻干燥样品中也未检出;2-戊基呋喃在晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50℃热风干燥样品中的相对含



量分别为 8.60%、6.48%、5.85% 和 7.22%; 萘的相对含量分别为 3.27%、3.69%、2.93% 和 0.86%。

综上所述,干燥后的五指毛桃等风味由酸类、醛类、酯类、酮类、呋喃类、吡嗪类、萘类等物质共同作用形成的。晒干主要促进了酯类物质的合成。熏硫干燥和热风干燥促进了醛类物质的生成,特别是热风干燥促进了大分子醛类物质的生成。热风干燥主要促进了吡嗪类物质的生成。因此,不同工艺干燥后的五指毛桃的香味不同。

由于实验条件限制,本文只对不同干燥方式的五指毛桃中香气成分进行了相对含量分析,并未确定哪些化合物是样品的主要呈香物质,因此,难以分析出不同干燥方式对五指毛桃香气产生了何种影响。Brattoli 等<sup>[24]</sup>认为将 GC-MS 系统与嗅觉检测系统相结合,可以将化学结构与气味属性和强度进行关联,从而提高香气表征的可靠性。另外,采用顶空固相萃取的方法(SPME)提取样品中的香气成分是采用标准添加法(SAM)和稳定同位素稀释分析(SIDA)可以进行可靠定量,因为它们可以最小化与 SPME 相关的基质效应<sup>[25]</sup>。因此,为分析干燥方式对香气成分的影响机制,还应采用 GC-MS-O 和定量分析等进一步研究清楚干燥后五指毛桃中的主要香气成分与含量。

### 3 结论

本研究比较和分析了晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥和 50℃ 热风干燥对五指毛桃干燥时间以及干燥后样品中补骨脂素、总多酚、总黄酮、总可溶性糖、挥发性风味成分含量的影响,结果表明晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥、50℃ 热风干燥将五指毛桃水分含量降低至 15%(安全储存水分含量)所需的时间约为 22、19、15 和 12 h。其次,晒干、熏硫干燥、真空冷冻干燥、50℃ 热风干燥后,五指毛桃中补骨脂素含量分别为 0.49、0.60、0.35、0.71 mg/g;总多酚含量分别为 1.50、3.95、1.44、1.59 mg/g;总黄酮含量分别为 3.91、4.65、1.19、1.55 mg/g;总可溶性糖含量分别为 94.95、83.83、86.76、82.19 mg/g;挥发性成分的相对含量分别为 75.20%、70.99%、57.18% 和 69.36%。从干燥效率的角度来看,50℃ 热风干燥可以显著缩短干燥时间,在四种方式中干燥效率是最高的。从安全的角度来看,硫磺对人体有害,不建议用于五指毛桃的干燥,其他三种方式相对安全。此外,补骨脂素在 50℃ 热风干燥中含量最高,总多酚和总黄酮含量在熏硫干燥的样品中含量最高,但是硫磺熏蒸不利于健康,不建议使用,而在其他三种干燥方式中,总多酚在 50℃ 热风干燥样品中含量最高,总黄酮在晒干样品中含量最高,其次在 50℃ 热风干燥样品中含量较高;可溶性糖在晒干样品中含量最高,其它三种方式干燥后含量略低于晒干且差异不显著,因此,从尽可能保留干燥后样品中的活性成分的角度来看,50℃ 热风干燥和晒干均具有一定的优势。从风

味的角度来看,四种干燥方式对五指毛桃挥发性成分的组成和含量均有一定的影响。

综上所述,不同的干燥方式对五指毛桃干燥效率、干燥后活性成分含量、挥发性成分的组成和含量有不同的影响。五指毛桃作为药食两用植物,选择安全高效且能最大程度保留活性成分的干燥方式至关重要,因此,在实际生产中遇天气等原因不能将五指毛桃晒干,可采用 50℃ 热风干燥烘干来代替。

### 参考文献

- [1] 谢宗万, 范崔生, 朱兆仪. 全国中草药汇编[M]. 上册. 北京: 人民卫生出版社, 1975: 155. [SHU Z W, FAN C S, ZHU Z Y. The compilation of Chinese herbal medicines[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1975: 155.]
- [2] 王伟伟, 陈瑶. 五指毛桃的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2013, 22(3): 41-42. [WANG W W, CHEN Y. Research progress of chemical components and pharmacological actions of *Ficus hirta* Vahl[J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2013, 22(3): 41-42.]
- [3] 劳景莉, 于旭东, 蔡泽坪, 等. 五指毛桃化学成分和药理作用研究进展[J]. 热带农业科学, 2018, 38(5): 82-87. [LAO J L, YU X D, CAI Z P, et al. Research progress of chemical components and pharmacological actions of *Ficus hirta* Vahl[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(5): 82-87.]
- [4] 徐晚秀, 李静, 宋飞虎, 等. 中草药干燥现状[J]. 中药与临床, 2015, 6(2): 114-118. [XU W X, LI J, SONG F H, et al. Current status of Chinese herbal medicine drying[J]. Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica, 2015, 6(2): 114-118.]
- [5] 李照莹, 黄晓兵, 周伟, 等. 不同热风干燥温度对高良姜片品质特性的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 239-246. [LI Z Y, HUANG X B, ZHOU W, et al. Effect of hot air drying temperature on the quality characteristics of *Alpinia officinarum* Hance slices[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(1): 239-246.]
- [6] 郭婷, 吴燕, 陈益能, 等. 热风干燥温度对大果山楂干燥产品品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 184-188. [GUI T, WU Y, CHEN Y N, et al. Effect of hot air-drying temperature on the product quality for *Malus domeri* (Bois) Chev.[J]. The Food Industry, 2020, 41(8): 184-188.]
- [7] 方伟, 胡慧, 刘慧芹, 等. 不同干燥温度对天麻主要成分含量的影响[J]. 怀化学院学报, 2019, 38(11): 1-5. [FANG W, HU H, LIU H Q, et al. Effect of different drying temperatures on the main components content of *Gastrodia elata*[J]. Journal of Huaihua University, 2019, 38(11): 1-5.]
- [8] 赵云青, 黄颖楦, 陈菁瑛, 等. 不同干燥温度对金线兰品质与有效成分的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(7): 807-809. [ZHAO Y Q, HUANG Y Z, CHEN J Y, et al. Quality and functional ingredients of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. dried at various dehydration temperatures[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 32(7): 807-809.]
- [9] 桂青, 周立军, 郑定华, 等. 热风干燥温度对五指毛桃品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 249-261. [GUI Q, ZHOU L J, ZHENG D H, et al. Effects of hot-air drying temperature on the quality of *Ficus hirta* Vahl[J]. Science and Technology



- of Food Industry, 2021, 42(21): 249–261. ]
- [ 10 ] 王凤贺, 丁冶春, 陈鹏泉, 等. 油茶籽热风干燥动力学研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 426–432. [ WANG F H, DING Y C, CHEN P X, et al. Investigation on hot-air drying of *Camellia oleifera* seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(S1): 426–432. ]
- [ 11 ] 曹健康. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. [ CAO J K. Physiological and biochemical experiment guidance of postharvest fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007. ]
- [ 12 ] 彭亮, 杨冰月, 程虎印, 等. 不同干燥方法对远志筒及根中主要化学成分的影响[J]. 中草药, 2018, 49(21): 5010–5017. [ PENG L, YANG B Y, CHENG H Y, et al. Effects of different drying methods on active constituents of root bark and root of *Polygala tenuifolia*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(21): 5010–5017. ]
- [ 13 ] 杨玲, 陈建, 杨屹立, 等. 甘蓝型油菜籽热风干燥特性及其数学模型[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 144–150. [ YANG L, CHEN J, YANG Y L, et al. Characteristics and mathematical models for hot-air-dried rapeseed (*Brassica napus*)[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(8): 144–150. ]
- [ 14 ] 利宇恒, 王鹏远, 刘超威, 等. 不同干燥方法对北沙参中5种香豆素及多糖含量的影响分析[J]. 广东化工, 2021, 48(2): 44–47, 35. [ LI Y H, WANG P Y, LIU C W, et al. Analysis on the influence of different drying methods on the five kinds of coumarin and polysaccharide content in *Radix Glehniae*[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(2): 44–47, 35. ]
- [ 15 ] 康明, 陶宁萍, 俞骏, 王锡昌, 吉林娟, 乐彩虹, 尹明雨. 不同干燥方式无花果干质构及挥发性成分比较[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 204–210. [ KANG M, TAO N T, YU J, et al. Comparison of texture quality and volatile components of dried figs by different drying methods[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 204–210. ]
- [ 16 ] 邓爱平, 康传志, 张悦, 等. 熏硫对中药化学成分及药理作用的影响[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(9): 1542–1559. [ LIU A P, KANG C Z, ZHANG Y, et al. Effects of sulfur fumigation on quality of traditional Chinese medicine[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39(9): 1542–1559. ]
- [ 17 ] DEWANTO V, WU X Z, KAFUI K A, et al. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50: 3010–3014.
- [ 18 ] YANG M, ZHOU Z, GUO D A. A strategy for fast screening and identification of sulfur derivatives in medicinal *Pueraria* species based on the fine isotopic pattern filtering method using ultra-high-resolution mass spectrometry[J]. Anal Chim Acta, 2015, 894: 44.
- [ 19 ] 巨浩羽, 赵士豪, 赵海燕, 等. 中草药干燥加工现状及发展趋势[J]. 南京中医药大学学报, 2021, 37(5): 786–796. [ JU H Y, ZHAO S H, ZHAO H Y, et al. Present situation and developing trend on drying of chinese herbs[J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 37(5): 786–796. ]
- [ 20 ] 姜珊, 马青琳, 张康华, 等. 不同干燥方法对金银花叶主要成分的影响[J]. 中国饲料, 2020(11): 20–26. [ JIANG S, MA Q L, ZHANG K H, et al. Effects of different drying methods on the main components of honeysuckle leaves[J]. China Feed, 2020(11): 20–26. ]
- [ 21 ] LOU S N, LAI Y C, HUANG J D, et al. Drying effect on flavonoid composition and antioxidant activity of immature kumquat[J]. Food Chemistry, 2015, 171: 356–363.
- [ 22 ] ALAGBE E E, AMLABU Y S, DANIEL E O, OJEWUMIM E. Effect of varying drying temperature on the soluble sugar and nutritional content of banana[J]. The Open Chemical Engineering Journal, 2020, 14: 11–16.
- [ 23 ] 颜廷才, 王前菊, 段肖杰, 等. 三种干燥方法对榴莲游离氨基酸和可溶性糖的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(14): 137–144. [ YAN T C, WANG Q J, DUAN X J, et al. The effect of three drying methods on free amino acids and soluble sugar of durian[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(14): 137–144. ]
- [ 24 ] BRATTOLIM, CISTERNINO E, DAMBRUOSO P, et al. Gas chromatography analysis with olfactometric detection (GC-O) as a useful methodology for chemical characterization of odorous compounds[J]. Sensors, 2013, 13(12): 16759–16800.
- [ 25 ] WU T, CADWALLADER K R. Identification of characterizing aroma components of roasted chicory "coffee" brews[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(50): 13848–13859.