

邢晓凡, 刘浩楠, 姚飞, 等. 不同干燥方式对黄桃果干品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 327–333. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020142

XING Xiaofan, LIU Haonan, YAO Fei, et al. Effects of Different Drying Methods on The Quality of Dried Yellow Peach Slices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(24): 327–333. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020142

· 贮运保鲜 ·

不同干燥方式对黄桃果干品质的影响

邢晓凡, 刘浩楠, 姚飞, 刘长虹*, 郑磊*

(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230601)

摘要: 本研究旨在探究不同干燥方式对黄桃果干品质的影响。以黄桃为研究对象, 分别采用真空冷冻干燥 (FD) 及真空冷冻干燥与微波真空干燥 (MVD)、热风干燥 (HAD) 联合干燥方法加工制备黄桃果干, 并研究几种干燥方式对黄桃果干质地、微观结构和营养成分等的影响。结果表明: 与 FD 相比, 联合干燥可以有效缩短干燥时间, 采用真空冷冻干燥—微波真空干燥技术 (FM) 得到的黄桃果干感官评价总分为 91.60, 色差值为 18.97, 同时质地特性和微观结构与 FD 组差异较小; FM 组黄桃果干的营养成分保留显著高于其余联合干燥组 ($P < 0.05$), 其总多糖、总酚、总黄酮、抗坏血酸含量分别为 161.16、15.84、34.02、1.07 mg/g。因此, 使用 FM 技术可以保证品质的同时有效缩短干燥时间。该研究结果可为黄桃果干干燥技术提升提供参考。

关键词: 干燥方式, 真空冷冻干燥, 微波真空干燥, 热风干燥, 黄桃, 感官品质, 营养成分

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)24-0327-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020142



本文网刊:

Effects of Different Drying Methods on The Quality of Dried Yellow Peach Slices

XING Xiaofan, LIU Haonan, YAO Fei, LIU Changhong*, ZHENG Lei*

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of different drying methods on the quality of dried yellow peach slices. Yellow peach slices were used as the research object, and vacuum freeze-drying (FD) and FD combined with microwave vacuum drying (MVD) and hot air drying (HAD) were used to dry yellow peach slices. The effects of different drying methods on the texture, microstructure, and nutritional composition of yellow peach slices were studied. The results indicated that compared with FD, combined drying methods could effectively shorten the drying time, the total sensory evaluation score and color difference of dried yellow peach slices obtained by vacuum freeze-drying microwave vacuum drying (FM) method were 91.60 and 18.97, respectively, which had little difference in texture characteristics and microstructure compared to the FD group. The nutrient content of FM dried yellow peach slices was significantly higher than that of the other combined drying methods ($P < 0.05$), with the contents of total polysaccharides, total phenolics, total flavonoids, and ascorbic acid were 161.16, 15.84, 34.02, and 1.07 mg/g, respectively. Therefore, FM technology could produce high-quality dried yellow peach slices while shortening the drying time. The research results could provide reference for improving the drying and processing technology of yellow peach slices.

Key words: drying method; vacuum freeze-drying; microwave vacuum drying; hot air drying; yellow peach; sensory quality; nutrient content

黄桃属于蔷薇科桃属植物, 中国是世界上主要的桃生产国之一, 因其营养丰富, 口味香甜, 含有丰富

的维生素 C、多糖和人类所需的微量元素而深受人们喜爱^[1]。然而, 黄桃属于呼吸跃变型水果, 采摘后

收稿日期: 2023-02-15

基金项目: 安徽省科技重大专项计划项目 (201903b06020003)。

作者简介: 邢晓凡 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工与贮藏, E-mail: xingxiaofan916@163.com。

* 通信作者: 刘长虹 (1982-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工与贮藏, E-mail: liuchanghong1982@163.com。

郑磊 (1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工与贮藏、农产品品质安全快速无损检测, E-mail: lzhen@hfut.cn。

易软烂变质,且季节性较强,严重影响其营养品质和商品价值。对黄桃进行干燥处理,能够通过降低水分抑制微生物和酶促反应引起的品质劣变,延长其货架期,进而满足消费者在非应季时对黄桃的需求。

真空冷冻干燥食品又可简称为冻干食品,通过冻干技术,可最大程度地维持原新鲜食品的感官品质及营养成分。因水分活度低,不需添加防腐剂便可常温长期储存,且便于携带和输送。冻干技术几乎覆盖了大部分的新型方便食品,并且正在向多个食品领域渗透^[2-3]。随着冻干食品经济价值和社会效益日渐突出,能降低能耗和缩短干燥时长的干燥工艺制得的冻干类果干食品具有很大的开发潜力和市场前景。目前,利用多种干燥技术如微波真空干燥技术(MVD)^[4]、热风干燥技术(HAD)^[5]与真空冷冻干燥技术相结合来进行联合干燥^[6-8],可以在保证高品质的同时也能够达到降低能耗、缩短干燥时间的目的。Theodora等^[9]探究热风联合微波干燥方法对桃块干燥速率的影响,发现热风干燥后微波干燥提高了干燥速率,干燥时间缩短了 89%。宋悦^[10]构建了黄桃热风干燥和真空冷冻干燥状态图,并在此基础上选取了合适的水分转换点进行联合干燥,发现先真空冷冻干燥 15 h 后热风干燥 5 h 是联合干燥最优工艺。于宛加等^[11]发现通过热风预干燥处理可有效调控桃脆片的脆性和硬度,且与冻干样品相比,联合干燥后的样品吸湿率更低,热风-冻干联合干燥更有利于改善桃脆片的质构和提升贮藏稳定性。目前国内外对黄桃果干的研究主要集中于单一干燥和两种联合干燥方式。然而对探究 MVD 和 HAD 与 FD 联合干燥方式在黄桃干燥中的应用以及不同联合干燥方式对黄桃果干品质的影响方面较少。

本研究选用黄桃作为试验对象,探究真空冷冻干燥及真空冷冻干燥与微波真空干燥、热风干燥联合干燥方法对黄桃果干的风味以及色泽、质构等方面的影响,同时研究不同干燥方式下黄桃主要营养成分含量变化,分析干燥方式对黄桃果干品质的影响。以期筛选出适宜黄桃的干燥方式,为黄桃的精深加工提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜黄桃 购自合肥某水果超市,平均含水率 90.86%±0.28%,4 ℃ 条件下冷藏,备用;抗坏血酸、硝酸铝、氢氧化钠、浓硫酸 分析纯,中国医药集团有限公司;没食子酸、芦丁 分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司;钼氨酸(纯度 98%) 麦克林生化科技有限公司;蒽酮(分析纯) 美仑生物科技有限公司。

SCIENTZ-12N 冷冻干燥机 宁波新芝生物科技股份有限公司;TA-XT plus 物性仪 英国 Stable 公司;Regulus 8230 扫描电子显微镜 日本日立公司;H1650-W 紫外分光光度计 赛默飞世尔科技(中国)

有限公司;NJL07-3 型实验微波炉 南京杰全微波设备有限公司;热风烘箱 天津市顺诺仪器科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 预处理:筛选新鲜无腐败,成熟度和大小一致的黄桃;将挑选好的黄桃清洗表面后去皮去核,进行纵切片处理,厚度为 8 mm^[12-14]。切片后的黄桃置于 100 ℃ 左右的沸水中漂烫 90 s 后迅速冷却并沥干水分,将黄桃片于-20 ℃ 冷冻 12 h。

通过预实验确定具体干燥时间^[12-14],将黄桃片分为五组,真空冷冻干燥 24 h(FD 组)、真空冷冻干燥 12 h+微波真空干燥 16 min(FM 组)、微波真空干燥 1 min+真空冷冻干燥 18 h(MF 组)、真空冷冻干燥 12 h+热风干燥 2 h(FH 组)、热风干燥 30 min+真空冷冻干燥 18 h(HF 组)处理,按照 GH/T 1326-2021 要求干燥至水分 8% 以下。真空冷冻干燥实验真空度为 1 Pa,隔板温度为 10 ℃,冷阱温度为-60 ℃;微波真空干燥实验真空度为 0.1 MPa,加热温度为 40 ℃;热风干燥实验温度为 40 ℃^[12-14]。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 感官评价 通过科学严谨的筛选,选出 10 名评估人员组成感官评价小组。评估员由男性和女性各五名组成(年龄在 22~26 岁,有感官评估经验)。品尝 2 个样品之间要漱口数次,直到感觉不到余味。评价时间:10:00 或 15:00,参考王世优等^[15]人的方法略作修改并制作感官评价标准,如表 1 所示。

表 1 黄桃果干感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria for dried yellow peach slices

项目	品质要求	得分
口感(30分)	酥脆性适中,鲜果味道较浓	30~20
	较低,酥脆性较低,鲜果味道过淡	19~10
	不酥脆,口感不好	9~0
形态(30分)	形状相对完整,无明显收缩	30~20
	形状稍有缺损和收缩,与鲜果差异较小	19~10
	果干缺损和收缩严重	9~0
气味(20分)	果味与鲜果无差异,并无异味	20~15
	果味较浓,有较少异味	14~10
	无果味,有较浓异味	9~0
色泽(20分)	自然果色,颜色鲜艳	20~15
	颜色略偏淡	14~10
	失去了本来的鲜果颜色	9~0

1.2.2.2 含水率 参照国标 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法^[16],将装有试样的称量瓶置于 105 ℃ 干燥箱中烘至恒重。含水率按下面公式计算:

$$\text{湿基含水率}(\%) = \frac{\text{样品重} - \text{干品恒重}}{\text{样品重}} \times 100$$

1.2.2.3 色泽 采用色差仪测定黄桃果干的 L^* 、 a^* 和 b^* ,色差用 ΔE 表示, ΔE 越小,则黄桃果干与鲜桃

的色泽越接近^[17], ΔE 通过以下公式计算:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式中: L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 为新鲜黄桃的色度值; L^* 、 a^* 、 b^* 为干燥后黄桃的色度值。

1.2.2.4 复水性 冻干食品复水后能否恢复到原新鲜状态是衡量冻干食品品质的重要指标之一, 首先测得冻干后物料的质量, 然后再将其放在常温水中进行复水直至恒重时沥干, 再测其质量^[18]。复水比按下面公式计算:

$$R_f = \frac{m_f}{m_g}$$

式中: R_f —复水比; m_f —复水后的质量(g); m_g —复水前的质量(g)。

1.2.2.5 质构特性 采用 TA-XT plus 物性仪对黄桃果干进行测定, 采用 P/6 探头, 测前、测后及测试速度为 1.00 mm/s, 压缩程度 30 %, 停顿时间 5 s, 触发力 10 g。得到的最大峰值为硬度; 峰值积分面积为脆性。

1.2.2.6 微观结构 采用扫描电子显微镜对不同干燥条件下制得的黄桃果干微观结构进行观察, 放大倍数为 200×^[19]。

1.2.2.7 总多糖含量 采用蒽酮-硫酸法测定总多糖含量^[20]。将干燥后的黄桃果干与新鲜黄桃在 40 ℃ 下烘干至恒重, 过 80 目筛, 为样品粉末, 用于后续实验。取样品粉末 0.5 g, 于 50 mL 三角瓶中, 加 20 mL 蒸馏水摇匀, 80 ℃ 水浴加热 30 min。以 10000 r/min 转速离心 10 min 后, 取其上清液即样液。取样液 1 mL 后加入 5% 苯酚溶液 1 mL, 再加入浓硫酸 5 mL, 充分摇匀, 放置 10 min, 然后置于 40 ℃ 水浴中保温 15 min, 取出, 冷却至室温, 于 620 nm 处测定吸光度并计算总多糖含量。以葡萄糖浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到线性回归方程为 $y=0.71000.0018$ ($R^2=0.9997$)。

1.2.2.8 总酚含量 采用福林酚比色法测定总酚含量^[21]。称取样品粉末 2 g, 加入蒸馏水 20 mL, 溶解。以 10000 r/min 转速离心 10 min 后, 取其上清液, 稀释 50 倍, 得到样液。取样液后加入 1 mL 福林酚显色剂及 3 mL 20% Na_2CO_3 , 混匀, 于 50 ℃ 水浴反应 30 min, 在 765 nm 处测定吸光度并计算总酚含量。以没食子酸浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到线性回归方程为 $y=0.0012x-0.0595$ ($R^2=0.9990$)。

1.2.2.9 总黄酮含量 参照 Jia 等^[22] 方法, 稍作修改。取样品粉末 1 g, 置于 100 mL 容量瓶中, 加入 70% 乙醇至 30 mL, 浸泡 24 h 后抽滤, 滤液用 70% 乙醇定容于 100 mL 容量瓶中, 得到黄酮提取液。取样液 1 mL 依次加 2.5 mL 70% 乙醇溶液、150 μL 5% NaNO_2 溶液、300 μL 10% AlCl_3 溶液, 混匀后静

置 5 min。再加入 1.00 mL 的 1 mol/L 的 NaOH 溶液, 在波长 510 nm 处测定吸光度并计算总黄酮含量。以芦丁浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到线性回归方程为 $y=1.0695x-0.0399$ ($R^2=0.9995$)。

1.2.2.10 抗坏血酸含量 参照 Liu 等^[23] 方法, 稍作修改。取 2.5 g 样品粉末, 加入 25 mL 的草酸-EDTA 溶液于 100 mL 烧杯中, 摇匀后取一定体积提取液于 50 mL 刻度离心管中, 室温下 10000 r/min 离心 10 min, 上清液即为待测液。取样液 1 mL 依次加入 4 mL 草酸-EDTA 溶液、1.5 mL 3% 偏磷酸-醋酸溶液、2 mL 5% 硫酸溶液和 2 mL 5% 钼酸铵溶液, 最终用超纯水定容至 25 mL, 30 ℃ 水浴显色 20 min, 取出自然冷却至室温, 再放置 1 h, 在 700 nm 处测定吸光度并计算抗坏血酸含量。以抗坏血酸浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到线性回归方程为 $y=0.9846x-0.0593$ ($R^2=0.9991$)。

1.3 数据处理

实验数据均为三次重复实验的平均值±标准差 (SD) 值, 采用 SPSS 20.0 软件进行显著性分析 ($P<0.05$), 并用 Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对黄桃果干感官评价的影响

根据冻干食品的特点, 对终产品的口感、形态、气味和色泽四个方面进行感官评价, 结果如表 2 所示。从表中可以看出, FD 组感官评分总分最高, FH 和 HF 组得分略低, 可能是由于热风干燥时间长导致表面硬化, 从而酥脆性较差。结合图 1 并在实验中发现, 先利用 MVD 和 HAD 技术干燥所制得的黄桃果干有明显皱缩, 所以导致 MF 和 HF 组在形态方面得分较低。感官评价(表 2)结果表明先进行真空冷

表 2 黄桃果干的感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results of dried yellow peach slices

分组	FD	FM	MF	FH	HF
口感	28.40±0.92 ^a	28.00±0.89 ^a	27.20±0.98 ^b	26.30±1.19 ^c	24.80±0.87 ^d
形态	28.30±0.64 ^a	27.00±0.89 ^a	25.20±0.87 ^c	25.20±0.87 ^b	25.10±0.54 ^c
气味	18.40±0.66 ^a	18.30±0.78 ^a	16.30±0.90 ^b	17.30±0.78 ^c	14.60±1.36 ^d
色泽	18.30±0.78 ^a	18.30±0.64 ^a	18.20±0.60 ^a	16.90±0.70 ^b	15.80±1.08 ^b
感官评价总分	93.40±1.20 ^a	91.60±1.43 ^b	86.90±1.64 ^d	88.30±1.00 ^c	80.30±1.62 ^e

注: 表中同列数据后不同小写字母表示具有显著性差异 ($P<0.05$); 表 3 同。



图 1 黄桃果干图

Fig.1 Yellow peach dried slices chart

注: 从左到右依次为 FD 组、FM 组、MF 组、FH 组、HF 组。

冻干燥后联合其余干燥技术所得黄桃果干总体感官评价较优, 相较其余干燥组, FD 组与 FM 组感官评价较高。

2.2 干燥方式对黄桃果干干燥时间的影响

通常将真空冷冻干燥过程分为两个阶段: 升华阶段和解析阶段。升华阶段比解析阶段升温更快, 物料中大部分水在升华阶段被去除; 黄桃中的自由水完全升华后, 保留了一个不能升华的多孔固体状基质, 黄桃表面逐渐向内部收缩, 使表面积越来越小和传质阻力越来越大, 从而导致干燥速率变小^[24-25]。

对于含水率较高且组织较密的黄桃, 仅采用 FD 技术来干燥, 能耗较高。因此, 可以先利用冻干技术将其含水率降低到解析干燥临界点后, 再采用微波真空干燥或热风干燥将含水率降低至 8% 以下。由图 2 可知, 仅依靠 FD 技术制备黄桃果干需要近 24 h 才能使其含水率降到 8% 以下, MVD 技术仅需 16 min 就可使新鲜黄桃片含水率降到 20% 以下, HAD 技术需 6 h 可将新鲜黄桃片含水率降低到 40% 左右。但在实验过程中发现利用 HAD 技术和 MVD 技术干燥黄桃果干分别在 6 h 和 18 min 后出现表面焦糊, 故未能使其干燥至含水率在 8% 以下。由此可知, 两者干燥效率虽都高于 FD 技术, 但 MVD 和 HAD 技术所制得的黄桃果干有明显皱缩、品质较低且无法制得符合含水率要求的黄桃果干, 故使用联合干燥技术可弥补这一缺陷。因此可将这两项干燥技术与 FD 技术联合使用, 在保证品质的同时也能缩短干燥时间。

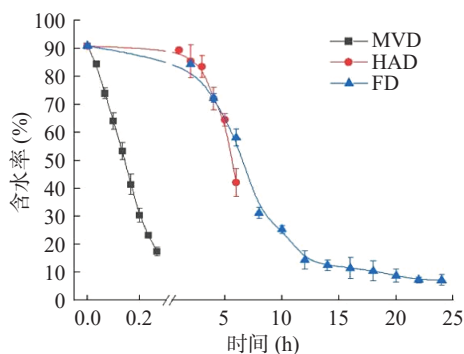


图 2 黄桃果干的干燥曲线

Fig.2 Drying curve of dried yellow peach slices

2.3 干燥处理对黄桃果干理化性质的影响

表 3 为不同干燥方式对黄桃果干干燥时间、色泽、复水比、硬度和脆性的影响。由表 3 可知, FD

组 ΔE 值显著低于其余干燥处理组 ($P < 0.05$), 这说明与新鲜黄桃相比, 经过微波干燥和热风干燥处理后的黄桃果干可能发生了褐变, 颜色偏深^[26]。其中, MF 组和 HF 组的 ΔE 值最高, 表明微波和热风干燥时间过长会加剧褐变反应。但 FM 组和 FH 组与其余干燥组不同, 其色泽差异要远小于后进行真空冷冻干燥的黄桃果干, 这说明先进行真空冷冻干燥后结合其余技术能够更大程度地保留黄桃原有色泽。

干制品的复水特性是衡量干制品品质和干制方法优劣的重要指标之一, 复水比值越大, 说明其复水后与鲜果的含水率越接近, 黄桃果干能够恢复到原鲜果状态程度越高, 干燥效果越好^[27]。由表 3 可知, FD 和 FM 组平均复水比显著高于其余三组。结合黄桃果干微观结构图可知, 复水能力可能是由孔隙大小决定^[28], FD 和 FM 组具有均匀的蜂窝状多孔结构从而更利于果干复水。硬度是衡量果蔬干制品品质的重要参数, 能反映果蔬干制品的食用口感^[29]。由表 3 可知, HF 组硬度最大, 可能是由于热风干燥温度较高, 干燥时间过长, 导致黄桃表面的水分损失大于内部失水, 所以在黄桃表面形成了硬壳^[30], 致使黄桃果干硬度值偏大。从表 3 中可知, FD 组黄桃果干硬度最小, 脆性最高, 分别为 16.33 N 和 175.79 N·s。相较其余联合干燥组, FM 组、FD 组脆性差异较小。综合感官评价来看, FM 组黄桃果干在感官和质构方面最接近 FD 组, 且干燥时间最短。

2.4 干燥方式对黄桃果干微观结构的影响

从图 3 中可以看出, FD 组和 FM 组均出现较为均一的蜂窝状多孔结构, 而 MF、FH 和 HF 组都出现了不同程度孔状结构塌陷现象。这是因为真空冷冻干燥过程中, 黄桃中的水以冰晶的形式存在可直接升华, 不破坏细胞结构, 从而可以保持完整的细胞骨架^[31]。温度升高加快了水分子的迁移速率, 自由水的迁移会导致毛细管张力大于细胞壁抗拉强度, 从而造成骨架塌陷, 导致多孔状结构消失^[32]。

2.5 干燥方式对总多糖含量的影响

由图 4 可知, 不同干燥方式获得的果干中总多糖含量由高到低排列依次为新鲜黄桃组 > FD 组 > FM 组 > FH 组 > FD 组 > MF 组 > HF 组。可能是由于黄桃在预处理漂烫或较高温度干燥过程中, 部分多糖或粘液质水解成单糖或低聚糖所致^[33]。本实验中所采用 FD 和 FM 技术对黄桃总多糖含量影响较小, 说明其终产品中总多糖含量在加工过程中损耗较低。

表 3 干燥处理对黄桃果干理化性质的影响

Table 3 Effect of drying treatment on the physical and chemical properties of yellow peach dried slices

分组	FD	FM	MF	FH	HF
干燥时间	24 h ^a	12 h+16 min ^c	1 min+18 h ^c	12 h+2 h ^d	30 min+18 h ^b
ΔE	12.26±1.79 ^c	18.97±4.70 ^b	23.87±1.21 ^a	19.98±5.19 ^b	26.90±4.21 ^a
复水比	7.23±0.64 ^a	6.62±0.59 ^b	6.02±0.38 ^c	6.33±0.26 ^c	5.91±0.26 ^c
硬度(N)	16.33±0.98 ^c	18.02±1.70 ^b	24.97±3.06 ^a	19.61±1.12 ^b	25.57±2.73 ^a
脆性(N·s)	175.79±27.08 ^a	158.62±23.44 ^b	133.73±31.89 ^c	135.90±29.98 ^c	102.35±8.41 ^d

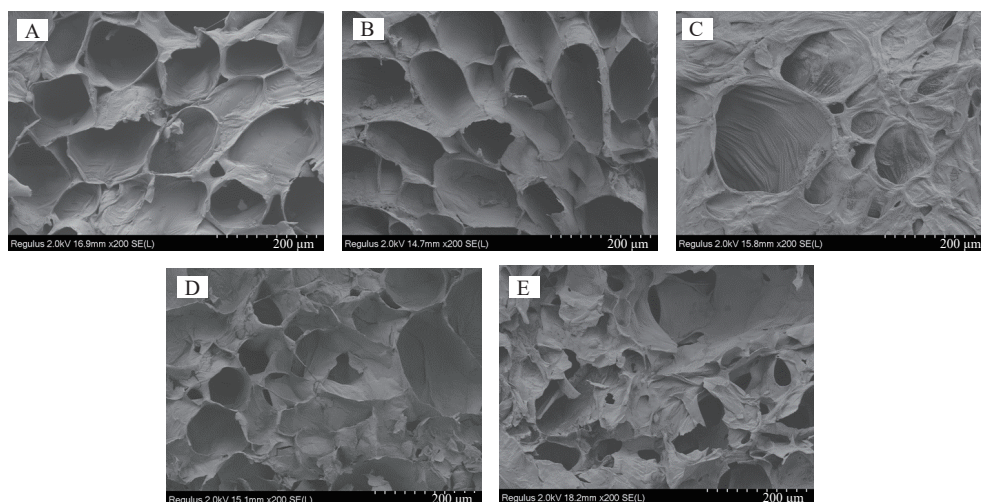


图 3 干燥处理对黄桃微观结构的影响

Fig.3 Effect of drying treatments on the microstructure of yellow peach

注: A、B、C、D、E 图分别对应 FD 组、FM 组、MF 组、FH 组、HF 组微观结构图。

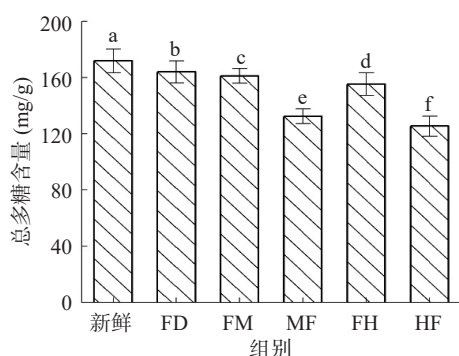


图 4 干燥方式对总多糖含量的影响

Fig.4 Effect of drying methods on total polysaccharide content

注: 不同小写字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$); 图 5 同。

2.6 干燥方式对总酚和总黄酮含量的影响

由图 5A 可以看出,与新鲜黄桃组对比,干燥处理组总酚含量均有不同程度下降,其中 HF 组最为显著。这是因为酚类化合物含有酚羟基,化学性质活泼,具有热不稳定性且易氧化^[34]。同时, HF 组先进行热风干燥,使得水分流失较多,进一步导致水溶性营养物质流失较多,这与李勋兰等^[35]研究结果一致。FM 组中总酚含量下降较少,且与 FD 组无显著性差异,因为该组干燥过程中先采用真空冷冻干燥技术且联合,微波干燥时间较短,在预处理后一直处于低温加工状态从而对总酚含量影响较小。由图 5B 可知,与新鲜黄桃组对比,不同干燥条件下黄桃果干总黄酮含量存在显著差异,这可能是因为预处理阶段经过漂烫和联合干燥时会在较高温度下干燥,温度过高造成部分黄酮类物质发生转化或热降解^[36]。FM 组总黄酮含量与 FD 组差异较小,且含量明显高于其余三组,表明利用 FM 方式可保证黄桃果干总黄酮含量保留较高。

2.7 干燥方式对抗坏血酸含量的影响

由图 6 可知,FD 组和 FM 组与新鲜黄桃组相比无显著性差异,但 MF 组、FH 组和 HF 组与新鲜黄

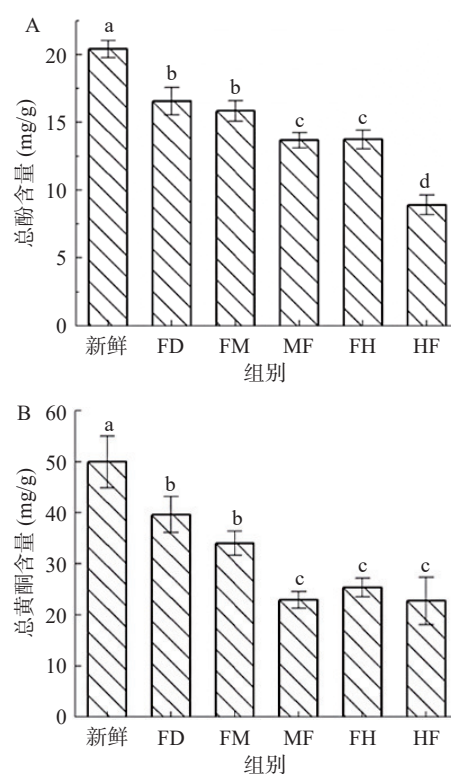


图 5 干燥方式对总酚、总黄酮含量的影响

Fig.5 Effect of drying method on total phenols and flavonoids content

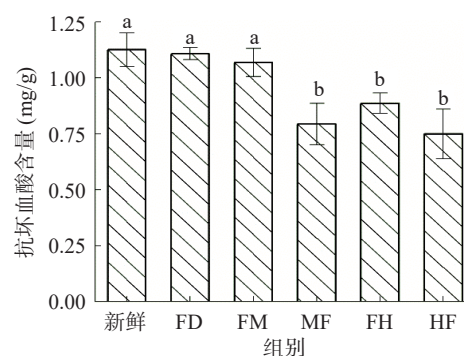


图 6 干燥方式对抗坏血酸含量的影响

Fig.6 Effect of drying methods on ascorbic acid content

桃组相比抗坏血酸含量显著性降低($P<0.05$),这主要是由于长时间的微波真空干燥和热风干燥过程中的酶促氧化和热降解^[37]。FD和FM技术可更好地保留抗坏血酸含量,与新鲜组相比无显著性差异,这可能是因为在真空条件下减少了抗坏血酸与空气接触的时间,这与Edvaldo等^[38]研究结果一致。

3 结论

本实验通过不同干燥方式制备黄桃果干并探究了其对黄桃果干感官品质、微观结构和营养成分的影响,筛选出最佳的黄桃果干干燥方式为先真空冷冻干燥后微波真空干燥。FM组在感官评价、色泽、质构特性和微观结构方面最接近FD组,且营养成分保留较高,满足目前市场对于黄桃果干的需求。MF组和HF组由于前期温度较高导致汁水流失,骨架坍塌,感官品质较低,营养成分保留率低。综上所述,FM技术在保证黄桃果干高品质的同时也可缩短干燥时间,更适宜作为黄桃的干燥方式。

参考文献

- [1] 金丽梅,廖梓钊,隋世有,等.非油炸黄桃脆片的加工工艺[J].现代食品科技,2020,36(2):186-193. [JIN L M, LIAO Z Z, SUI S Y, et al. Processing technology of non-fried yellow peach chips[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 186-193.]
- [2] 王薇.冻干食品成为行业新风口[N].中国食品报,2021-10-25(002). [WANG W. Freeze-dried food has become a new outlet in the industry[N]. China Food News, 2021-10-25(002).]
- [3] 段瑞辉.浅析我国冻干食品的发展与前景[J].食品安全导刊,2019(10):60-61. [DUAN R H. Development and prospect of freeze-dried food in China[J]. Food Safety Guide, 2019(10): 60-61.]
- [4] CARVALHO G R, MONTEIRO R L, LAURINDO J B, et al. Microwave and microwave-vacuum drying as alternatives to convective drying in barley malt processing[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021, 73: 102770.
- [5] SOUZA A, JLG C, TANIKAWA D H, et al. Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 156: 113046.
- [6] JIA Y, KHALIFA I, HU L, et al. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques[J]. Food and Bioproducts Processing, 2019, 118: 67-76.
- [7] 刘艳红,范美迪,孙瑞雪,等.不同干燥方式对香菜品质及自由基清除能力的影响[J].中国调味品,2022,47(12):61-65,72. [LIU Y H, FAN M D, SUN R X, et al. Effects of different drying methods on the quality and free radical scavenging ability of coriander[J]. China Condiment, 2022, 47(12): 61-65,72.]
- [8] 盛金凤,陈坤,雷雅雯,等.微波-热风联合干燥茉莉花干燥特性及品质分析[J].食品工业科技,2022,43(11):126-135. [SHENG J F, CHEN K, LEI Y W, et al. Drying characteristics and quality analysis of jasmine with combined microwave and hot air drying[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 126-135.]
- [9] THEODORA C, KYRIAKOS K, ATHANASIA M G, et al. Drying of peaches by a combination of convective and microwave methods[J]. Journal of Food Process Engineering, 2023, 46(4): e14296.
- [10] 宋悦.基于不同预处理的桃脆片真空冷冻联合干燥工艺优化[D].北京:中国农业科学院,2020. [SONG Y. Optimization of vacuum freeze combined drying process for peach crisps based on different pretreatments[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.]
- [11] 于宛加,金鑫,胡丽娜,等.预干燥过程水分分布对热风-真空冷冻干燥桃脆片微观结构与质构的影响[J].食品科学,2023,44(15):69-79. [YU W J, JIN X, HU L N, et al. Effect of water distribution on the microstructure and texture properties of peach crisp during hot air-vacuum freeze-dried[J]. Food Science, 2023, 44(15): 69-79.]
- [12] 叶晓梦,黄略略,乔方,等.铁棍山药冻干-微波真空联合干燥工艺研究[J].食品工业,2014,35(7):152-155. [YE X M, HUANG L L, QIAO F, et al. Studies on freeze drying-microwave vacuum drying technology of iron ya[J]. The Food Industry, 2014, 35(7): 152-155.]
- [13] 马有川,毕金峰,易建勇,等.预干燥方式和水分转换点对真空冷冻联合干燥苹果脆片品质的影响[J].中国食品学报,2021,21(9):110-120. [MA Y C, BI J F, YI J Y, et al. Effect of Pre-drying method and moisture conversion point on the quality of apple crisps dried by vacuum freezing[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 110-120.]
- [14] 常安太.哈密瓜片红外热风联合干燥动力学及工艺参数优化[D].新疆:石河子大学,2022. [CHANG A T. Kinetics and process parameters optimization of combined infrared and hot air drying of cantaloupe (*Cucumis melon* L.) slices[D]. Xinjiang: Shihezi University, 2022.]
- [15] 王世优,濮永曦,王翔,等.综合评价不同干燥工艺对桑葚品质的影响[J].农业开发与装备,2021(8):150-151. [WANG S Y, PU Y X, WANG X, et al. Comprehensive evaluation of the effects of different drying processes on mulberry quality[J]. Agricultural Development & Equipments, 2021(8): 150-151.]
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 National standard for food safety — Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [17] JIAN L, ZHOU L Y, BI J F, et al. Quality evaluation of yellow peach chips prepared by explosion puffing drying[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 8204-8211.
- [18] DENG Y, ZHAO Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji) [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(1): 84-93.
- [19] YA A, SH B, HNB C, et al. Improvements of drying rate and structural quality of microwave-vacuum dried carrot by freeze-thaw pretreatment — science direct[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 100: 294-299.
- [20] 汤石生,马道宽,刘军,等.三种不同预处理的冻干苹果片品质比较[J].现代食品科技,2021,37(7):169-175. [TANG S S, MA D K, LIU J, et al. Comparison of three kinds of pretreatment on quality of freeze-dried apple slices[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 169-175.]
- [21] 祝思宇,肖怡,陈冠林,等.山竹的花色苷、黄酮、总酚含量及其抗氧化活性[J].食品工业,2020,41(2):338-343. [ZHU S Y, XIAO Y, CHEN G L, et al. Anthocyanins, flavonoids, total phenolic contents and antioxidant activities of mangosteen[J]. The Food

- Industry, 2020, 41(2): 338–343.]
- [22] JIA, ZHI S, TANG, MENG C, et al. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. Food Chemistry, 1999(4): 555–559.
- [23] LIU C, ZHAO Y, LI X, et al. Antioxidant capacities and main reducing substance contents in 110 fruits and vegetables eaten in China[J]. Food & Nutrition Sciences, 2014, 5(4): 293–307.
- [24] 刘德成, 郑霞, 肖红伟, 等. 红枣片冷冻-红外分段组合干燥工艺优化[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17): 293–302. [LIU D C, ZHENG X, XIAO H W, et al. Optimization of sequential freeze-infrared drying process of jujube slices[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(17): 293–302.]
- [25] 徐宇, 郑杰, 白羽嘉, 等. 响应面法优化哈密瓜片干燥工艺[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(16): 122–127. [XU Y, ZHENG J, BAI Y J, et al. Desiccation process of hami melon slice by response surface method[J]. Food Research and Development, 2017, 38(16): 122–127.]
- [26] ZHANG J, YAGOUR E, SUN Y, et al. Intensive pulsed light pretreatment combined with controlled temperature and humidity for convection drying to reduce browning and improve quality of dried shiitake mushrooms[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021(13): 101.
- [27] 郭建业, 张艳红, 张岚, 等. 草莓片真空冷冻干燥工艺研究[J]. 农产品加工, 2021(7): 27–30, 35. [GUO J, ZHANG Y H, ZHANG L, et al. Study on the vacuum freeze-drying processing technology of strawberry slices[J]. Farm Products Processing, 2021(7): 27–30, 35.]
- [28] VAN DER SMAN R G M, PAUDEL E, VODA A, et al. Hydration properties of vegetable foods explained by Flory–rehner theory[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 804–811.
- [29] 张莉会, 廖李, 汪超, 等. 超声和渗透预处理对干燥草莓片品质及抗氧化活性影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12): 196–203. [ZHANG L H, LIAO L, WANG C, et al. Effects of ultrasonic and osmotic pretreatment on quality and antioxidant activity of dried strawberry slices[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(12): 196–203.]
- [30] RICHTER REIS F, MARQUES C, MORAES A C S D, et al. Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables[J]. Food Control, 2022, 142: 109254.
- [31] 曹梦丹, 张雪霞, 任文庭, 等. 干燥方式对毛竹细胞壁孔隙结构的影响[J]. 林业工程学报, 2021, 6(6): 58–65. [CAO M D, ZHANG X T, REN W T, et al. Effect of drying methods on the cell wall pore structure of *Phyllostachys edulis*[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(6): 58–65.]
- [32] 肖曼玉, 张秀玲, 刘明华, 等. 响应面法优化青椒微波-真空冷冻联合干燥工艺及品质分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 191–200. [XIAO M Y, ZHAN X L, LIU M H, et al. Process optimization of microwave-vacuum freezing combined drying of green pepper by response surface methodology and its quality analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 191–200.]
- [33] CHEN G, HONG Q Y, JI N, et al. Influences of different drying methods on the structural characteristics and prebiotic activity of polysaccharides from bamboo shoot (*Chimonobambusa quadrangularis*) residues[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 155(8): 674–684.
- [34] 李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 等. 真空冷冻干燥与热风干燥对桑果品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(1): 169–174. [LI X L, WEI Z X, PENG F F, et al. Effect of vacuum freeze drying and hot air drying on mulberry quality[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(1): 169–174.]
- [35] HB A, ARE B, ES B, et al. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit—science direct[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 135–141.
- [36] 李倩, 吕泳彬, 于笛, 等. 不同干燥方式对黄秋葵质构特性、活性成分及抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(11): 79–84. [LI Q, LÜ Y B, YU D, et al. Effects of different drying methods on texture properties, active components and antioxidant capacity of okra[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(11): 79–84.]
- [37] WANG J, ARUN S M, DENG L Z, et al. High-humidity hot air impingement blanching alters texture, cell-wall polysaccharides, water status and distribution of seedless grape[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 194: 9–17.
- [38] EDVALDO V, LDM L, AUGUSTO B, et al. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97: 317–322.