

不同干燥方式对橄榄果粉品质的影响

林炎娟, 周丹蓉, 吴如健, 梁华娣, 赖瑞联, 陈瑾, 叶新福*

(福建省农业科学院 果树研究所, 福建 福州 350013)

摘要:比较微波干燥、热风干燥、真空干燥以及真空冷冻干燥对橄榄果粉外观色泽、物理特性、营养成分及微观结构等品质的影响。结果表明:真空冷冻干燥橄榄果粉色泽较佳,具有较高亮度和最低的红绿度,最接近鲜食橄榄绿色色泽;热风干燥和真空干燥所得果粉吸油性较低,吸湿性较高,热风干燥的果粉堆积密度和溶解度均最高,真空冷冻干燥的果粉堆积密度最低,吸湿率低,复水性、流动性、吸油性和溶解度均较高,微波干燥的果粉含水率最高,复水性、吸湿率、堆积密度、吸油性和溶解度均较低;微波干燥的还原糖、总酸含量损失较小,热风干燥的类黄酮损失较小,真空干燥的总糖和总酚含量损失较小,真空冷冻干燥的蛋白质含量损失较小。扫描电镜观察微观结构发现微波干燥和真空冷冻干燥果粉颗粒间空隙大,组织较光滑完整,皱缩少,热风干燥和真空干燥果粉颗粒间空隙小,部分皱缩。通过主成分分析品质综合得分结果为:真空冷冻干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥。

关键词:橄榄果粉;微波干燥;热风干燥;真空干燥;真空冷冻干燥;品质

Effects of Different Drying Methods on the Quality Characteristics of Olive Powder

LIN Yan-juan, ZHOU Dan-rong, WU Ru-jian, LIANG Hua-di, LAI Rui-lian, CHEN Jin, YE Xin-fu*

(Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, Fujian, China)

Abstract: The color, microstructure, physical properties, and nutrient content of olive powder prepared by microwave, hot-air, vacuum, and vacuum-freeze drying methods were measured and analyzed to provide a theoretical basis for processing olive powder. Results showed that the color of the powder prepared by vacuum-freeze drying was better with higher brightness and lower red-greenness which is closest to color of fresh olives. The powders prepared by the hot-air and vacuum drying methods had lower oil absorption and higher hygroscopicity, with that prepared by hot-air drying having the highest bulk density and solubility. The powder prepared by vacuum-freeze drying had the lowest bulk density, lower water absorption, and high rehydration, fluidity, oil absorption, and solubility. The powder prepared by microwave drying had the highest water content and rehydration and had low water absorption, bulk density, oil absorption, and solubility. The powder prepared by microwave drying had reduced sugar and a lower loss of total acid content, whereas that prepared by hot-air drying had a lower loss of flavonoid content. The powder prepared by vacuum drying had a lower loss of total sugar and phenol content, whereas that prepared by vacuum-freeze drying had a lower loss of protein content. Regarding the microstructures of the prepared powders, those prepared by the microwave and vacuum-freeze drying methods had large inter-particle spaces, and the arrangements were smooth, complete, and less shrunk. The powders prepared by the hot-air and vacuum drying methods had small inter-particle spaces, and some of the powder samples were shrunken. Principal component analysis produced comprehensive scores for the olive powder samples in the following decreasing order: vacuum-freeze drying > vacuum drying > hot-air drying > microwave drying.

Key words: olive powder; microwave drying; hot-air drying; vacuum drying; vacuum-freeze drying; quality

基金项目:农业农村部热作资源保护项目(18190035、18200034);福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1013-15)

作者简介:林炎娟(1990—),女(汉),硕士,研究方向:水果保鲜与加工。

*通信作者:叶新福(1967—),男(汉),研究员,博士,研究方向:品质遗传育种。

引文格式:

林炎娟,周丹蓉,吴如健,等.不同干燥方式对橄榄果粉品质的影响[J].食品研究与开发,2021,42(7):90-97.

LIN Yanjuan, ZHOU Danrong, WU Rujian, et al. Effects of Different Drying Methods on the Quality Characteristics of Olive Powder[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7):90-97.

橄榄是橄榄科橄榄属常绿乔木植物,果实亦称青果、青榄、甘榄等,营养丰富,口味独特,富含多酚、类黄酮和维生素等活性成分,兼具保肝护肝、清热利咽、抗菌消炎、抗肿瘤抗氧化和提高抗体免疫等药用功效,是我国卫生部公布的首批药食两用物种,具有很高的药食两用价值,可供鲜食与加工^[1-6]。橄榄干燥制粉是一种能够较好保持橄榄药理活性的加工方法。橄榄具有独特的风味,偏甘偏苦涩,鲜食大众接受度低,但其药理活性功能受到现代消费者的大力追捧,目前市面上的加工品主要为果脯蜜饯类,不但药理活性功能在加工中损失较大,且由于其高糖高盐等特点,大大降低橄榄保健功能。果粉具有营养价值高、贮藏稳定性好、运输成本低等特点,既可用作速溶果粉,也可作为食品基料、辅料等添加于各类食品中,同时也是改善橄榄鲜果产能过剩、鲜食保鲜期短、深加工产品单一等问题的优良手段^[7-9]。

干燥是影响果粉成品品质质量的关键工艺,不同干燥技术对不同果蔬干燥产品品质的影响有所差异^[10]。果蔬粉干燥工艺主要有喷雾干燥、微波干燥、热风干燥、真空干燥和真空冷冻干燥等^[7]。不同干燥工艺的原理特点、干燥温度时间和成本能耗等均有所不同,对制成果蔬粉产品品质的影响亦有所差异,在苹果粉^[8,11]、杨梅粉^[12]、枣粉^[13]、树莓粉^[14]等有大量研究报道。喷雾干燥较适合于果粉干燥连续化生产,亦适合热敏性物料快速干燥,但不适合固体含量高的物料进行干燥^[15]。微波干燥(microwave drying, MD)具有整体干燥速度快、时间短、产品质量高和节约能源成本等优点^[16]。热风干燥(hot-air drying, HAD)是果蔬脱水中最常用的干燥方法,成本低,但是干燥后产品品质易发生较大损失^[17]。真空干燥(vacuum drying, VD)在果蔬干燥上也具有较广泛的应用,具有干燥效率高、营养成分损失少等优点^[18]。真空冷冻干燥(vacuum-freeze drying, VFD)被认为是保持果蔬粉营养成分的有效干燥方式,但它有成本高、能耗高和脱水时间长等问题^[19]。目前,关于橄榄果粉干燥的研究较少,尤其是不同干燥方式对橄榄果粉综合品质的影响鲜见报道。因此,本研究拟通过对比4种常见干燥方式对橄榄果粉的外观色泽、微观结构、色差值、物理特性、营养成分等品质指标的影响,并通过主成分分析进行综合评价,旨在为橄榄果粉筛选

最佳干燥加工方式提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

“长营”橄榄:福建福州闽侯县橄榄种植基地,采摘后运回实验室,4℃条件下贮藏备用。

1.2 仪器与设备

EM-687MS1型微波炉:美的集团股份有限公司;LDO-101-3型电热恒温鼓风干燥箱:上海龙跃仪器设备有限公司;DZF-6050型真空干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司;CTFD-20S型冷冻干燥机:青岛永合创信电子科技有限公司;DE-1000g型万能高速粉碎机:浙江红景天工贸有限公司;JSM-6380LV型扫描电子显微镜:日本JEOL公司;UNIQUE-S15型超纯水机:锐思捷科学仪器有限公司;TM-767Ⅲ型搅拌机:中山市小太阳有限公司;SK5210HP型超声波清洗器:海科导超声仪器有限公司;JA2003N型电子分析天平:上海佑科仪器仪表有限公司;TU-1900型双光束紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;H1850型台式高速离心机:湖南湘仪离心机仪器有限公司;B-220型恒温水浴锅:上海亚荣生化仪器厂;NH300型便携式色差仪:三恩驰科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品干燥处理

挑选新鲜、无干缩、无褐变、无机械损伤、无病虫害、无腐烂变质且成熟度一致的橄榄,用流动水清洗表面,然后热烫1 min后晾干冷却,去核破碎后平铺样品盘上置于干燥设备中进行干燥,均干燥至水分含量8%以下(湿基),符合果蔬粉农业标准NY/T 1884—2010《绿色食品 果蔬粉》。将干燥后样品置于粉碎机中粉碎后过80目筛网,即得橄榄果粉。其中,分别设置以下4个干燥条件:(1)微波干燥:称取破碎后的橄榄300 g均匀铺散在盘子上放入微波炉内,微波功率350 W,烘干40 min;(2)热风干燥:称取破碎后的橄榄300 g均匀铺散在盘子上置于60℃干燥箱烘干至恒重;(3)真空干燥:称取破碎后的橄榄300 g均匀铺散在盘子上置于60℃、真空21 kPa的真空干燥箱烘干至恒重;(4)冷冻干燥:称取破碎后的橄榄300 g均匀

铺散在盘子上-45℃预冷2h,在冷阱温度为-45℃、真空18 Pa下升华干燥24h,然后45℃解析干燥至恒重。

1.3.2 指标测定方法

1.3.2.1 色差值测定

用色差仪测定,以标准白板为对照,测定橄榄鲜果和橄榄果粉的亮度(L^*)、红绿度(a^*)、黄蓝度(b^*)、彩度(C)和色相(h°)的色差值。

1.3.2.2 物理特性的测定

堆积密度:将橄榄果粉装入事先称好质量的10 mL量筒中,压实压紧至刚好填充至刻度,称总质量^[12],采用式(1)计算。

$$\text{堆积密度}/(\text{g/mL}) = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 为量筒的质量,g; m_2 为果粉和量筒的总质量,g; V 为果粉体积,mL。

流动性:称取40.0 g橄榄果粉倒入8 cm高的漏斗,测定果粉在白纸上所形成锥形的底部直径,用直径大小判断流动性,直径越大流动性越好^[20]。

吸油性:称取1.0 g橄榄果粉缓慢加入已倒入8 mL菜籽油的10 mL离心管中,边加入边涡旋振荡混匀,后静置30 min,4 000 r/min离心20 min,记录上层油体积^[11],采用式(2)计算。

$$\text{吸油性}/(\text{mL/g}) = \frac{V_1 - V_2}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中: V_1 为总添加的菜籽油体积,mL; V_2 为离心后上层菜籽油体积,mL; m 为果粉的质量,g。

吸湿率:称取一定质量的橄榄果粉置于相对湿度75%、温度25℃的恒温恒湿箱保存24 h,称重^[21],采用式(3)计算。

$$\text{吸湿率}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

式中: m_1 为吸湿前果粉质量,g; m_2 为吸湿后果粉质量,g。

溶解度:称取1.0 g橄榄果粉置于200 mL烧杯中,加入100 mL蒸馏水,在磁力搅拌器上搅拌5 min,

4 000 r/min离心5 min,取上清液20 mL倒入玻璃培养皿置于105℃烘箱中干燥3 h,记干燥后总质量^[22],采用式(4)计算。

$$\text{溶解度}/\% = \frac{(m_3 - m_2) \times V_1}{m_1 \times V_2 \times (1 - w)} \times 100 \quad (4)$$

式中: m_1 为称取橄榄果粉质量,g; m_2 为玻璃培养皿的质量,g; m_3 为烘干后玻璃培养皿与固体残渣总质量,g; V_1 为加入蒸馏水总体积,mL; V_2 为取上清液体积,mL; w 为果粉含水率,%。

复水性:称取1.0 g橄榄果粉置于50 mL离心管中,加入15 mL蒸馏水,25℃条件下静置1 h,后以10 000 r/min离心25 min,倒去上清液,称取离心沉淀物的质量^[13],采用式(5)计算。

$$\text{复水性}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (5)$$

式中: m_1 为复水前果粉质量,g; m_2 为离心沉淀物质量,g。

1.3.2.3 其它指标测定

叶绿素含量采用比色法测定;总糖和还原糖含量采用3,5-二硝基水杨酸法测定;总酸含量采用酸碱中和滴定法测定;蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定;总酚含量采用福林酚法测定;类黄酮含量采用铝离子显色法测定。

1.3.2.4 微观结构观察

采用台式扫描电子显微镜对橄榄果粉形貌进行扫描观察拍照,设置加速电压为15 kV,观察倍数为500倍。

1.4 数据处理

用Microsoft Office Excel 2007软件进行数据分析及作图作表,并采用SPSS Statistics 24软件进行显著性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对橄榄果粉色差值的影响

外观色泽直观反映果粉最直观的感官品质,体现商品价值。不同干燥方式对橄榄果粉色差值的影响见表1。

表1 干燥方式对橄榄果粉对色差值的影响

Table 1 Effect of drying methods on chromatic aberration of olive powder

干燥方式	亮度(L^*)	红绿度(a^*)	黄蓝度(b^*)	彩度(C)	色相(h°)
微波干燥(MD)	76.48±0.67 ^c	6.34±0.29 ^a	32.51±0.19 ^a	32.91±0.46 ^a	79.01±0.43 ^{ab}
热风干燥(HAD)	79.14±1.68 ^{bc}	5.37±0.48 ^a	30.76±1.14 ^a	31.30±1.10 ^a	80.09±0.84 ^{ab}
真空干燥(VD)	83.12±0.74 ^{ab}	2.95±0.30 ^{ab}	31.71±0.70 ^a	31.84±0.71 ^a	84.69±0.45 ^{ab}
真空冷冻干燥(VFD)	86.67±0.57 ^a	-0.05±0.04 ^c	30.85±0.18 ^a	30.85±0.18 ^a	90.08±0.10 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

由表1可知,果粉 L^* 值大小依次为真空冷冻干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥,差异显著。 a^* 值大

小依次为微波干燥>热风干燥>真空干燥>真空冷冻干燥。 b^* 值最高为微波干燥,与其它干燥处理差异不显

著($P>0.05$)。各干燥组 C 值差异不显著。 h° 值较大的为真空冷冻干燥和真空干燥,相互之间差异显著($P<0.05$),均显著高于微波干燥和热风干燥($P<0.05$)。由此说明,真空冷冻干燥制得的橄榄果粉色泽呈现出鲜亮绿色色泽,而真空干燥的果粉色泽比热风干燥接近绿色色泽,且温度越低色泽越接近。有研究报道,干制过程中温度和真空度高低直接影响水果色泽变化程度,在较低的温度和真空度条件下干燥,其酶促褐变、非酶促褐变及色素成分损失等发生程度较低,且真空冷冻干燥可较好保持细胞组织结构,从而较好保留原有色泽^[23-25]。而微波干燥中果粉色泽最差,明显偏黄。由于本研究中橄榄干燥前经过热处理,酚类氧化引起的褐变程度低,出现明显褐变的原因更可能是由于微波干燥受热不均导致部分烧焦和较高的温度下发生美拉德反应等非酶促褐变的程度更大而引起,这与秦樱瑞等^[26]和邓媛元等^[23]在苦瓜干制上结论相似。

2.2 干燥方式对橄榄果粉叶绿素含量的影响

叶绿素是影响色泽变化关键的指标,也是保持绿色色泽的关键指标,叶绿素含量损失也会引起褐变。不同干燥方式对橄榄果粉叶绿素含量的影响见表 2。

表 2 干燥方式对橄榄果粉叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of drying methods on chlorophyll content of olive powder

干燥方式	叶绿素 a/ (mg/g)	叶绿素 b/ (mg/g)	叶绿素 a+叶绿素 b/(mg/g)
微波干燥(MD)	0.052±0.002 ^{aA}	0.087±0.009 ^{aA}	0.139±0.008 ^{aA}
热风干燥(HAD)	0.051±0.001 ^{abAB}	0.084±0.004 ^{abA}	0.135±0.006 ^{abAB}
真空干燥(VD)	0.047±0.002 ^{bB}	0.079±0.005 ^{ba}	0.126±0.007 ^{bB}
真空冷冻干燥(VFD)	0.049±0.001 ^{bcAB}	0.082±0.003 ^{aA}	0.131±0.003 ^{bcAB}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

由表 2 可知,叶绿素 a 含量最高的是微波干燥,为 0.052 mg/g;最低的是真空干燥,为 0.047 mg/g,与真空冷冻干燥之间差异不显著,与微波干燥之间差异极显著。叶绿素 b 含量最高的是微波干燥,为 0.087 mg/g,显著高于真空干燥,但与热风干燥、真空冷冻干燥差异不显著。叶绿素 a 和叶绿素 b 总含量最高的是微波干燥,为 0.139 mg/g,显著高于其它干燥方式。这说明,微波干燥和热风干燥过程叶绿素损失较少,由叶绿素损失引起的褐变程度低。

2.3 干燥方式对橄榄果粉物理特性的影响

物理特性是评价果粉品质优劣的重要指标。不同干燥方式对橄榄果粉物理特性的影响变化见表 3。

表 3 干燥方式对橄榄果粉物理特性的影响

Table 3 Effect of drying methods on physical properties of olive powder

干燥方式	堆积密度/(g/mL)	流动性/cm	吸湿率/%	吸油性/(mL/g)	溶解度/%	复水性/%
微波干燥(MD)	0.54±0.03 ^{bB}	11.53±0.06 ^{cC}	23.00±0.53 ^{baB}	1.96±0.04 ^{baA}	44.45±4.21 ^{ba}	396.73±11.75 ^{aA}
热风干燥(HAD)	0.68±0.02 ^{aA}	11.63±0.12 ^{cC}	28.10±1.41 ^{aA}	1.90±0.29 ^{ba}	52.60±1.52 ^{aA}	315.80±36.96 ^{aA}
真空干燥(VD)	0.62±0.02 ^{ba}	11.97±0.06 ^{baB}	29.83±1.34 ^{aA}	2.43±0.22 ^{baA}	50.28±4.54 ^{aA}	339.77±53.56 ^{aA}
真空冷冻干燥(VFD)	0.44±0.01 ^{dC}	12.33±0.15 ^{aA}	23.83±1.12 ^{baB}	2.49±0.40 ^{aA}	50.92±1.69 ^{aA}	351.73±38.98 ^{aA}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

堆积密度的高低影响果粉包装、运输成本和后续压片制品难易程度,从而影响果粉经济价值^[12, 21, 27]。流动性是果粉加工中重要工艺指标。如表 3 所示,堆积密度最高为热风干燥,其次为真空干燥,然后是微波干燥,最低是真空冷冻干燥,各处理差异显著。流动性最高为真空冷冻干燥,极显著高于其它干燥处理;流动性最差为微波干燥,显著低于其它 2 组。这可能是由于真空冷冻干燥果粉具有疏松多孔、颗粒间空隙大、低密度纤维多等特点,从而有较低的堆积密度和较高的流动性^[12, 28-29]。

吸湿率影响果粉加工特性与贮藏稳定性,吸湿率高果粉贮藏期间容易引起吸湿结块,吸湿率越低越有助于果粉的长期保藏^[11, 30]。由表 3 可知,真空干燥所得橄榄果粉吸湿率最高,而微波干燥和真空冷冻干燥的吸湿率最低。这与周禹含等^[13]研究发现真空冷冻干燥吸湿

率最低相似。本研究认为真空干燥果粉吸湿率高于热风干燥,这可能因不同干燥时间、干燥温度以及果种果粉特性不同而有所差异。

果粉的吸油性、溶解度和复水性是体现果粉溶解特性的主要指标,但目前并未明确体现果粉溶解特性的确切标准,一般认为,溶解度越高越有利于人体对果粉的消化吸收和果粉的速溶、冲调和复配添加等多元化利用^[22]。由表 3 可知,溶解度最高为热风干燥,但仅与最低的微波干燥组呈差异显著,与其它处理组差异不显著。各干燥组复水性之间差异不显著。吸油性最高为真空冷冻干燥,最低为热风干燥和微波干燥。

2.4 干燥方式对橄榄果粉营养成分的影响

营养成分指标是评价果粉营养品质和药理活性的重要指标。不同干燥方式对橄榄果粉营养成分的影响见表 4。

表4 干燥方式对橄榄果粉营养成分的影响

Table 4 Effect of drying methods on nutrient content of olive powder

干燥方式	总糖/(mg/g)	还原糖/(mg/g)	总酸/%	蛋白质/(mg/g)	总酚/(mg/g)	类黄酮/(mg/g)
微波干燥(MD)	169.67±2.02 ^{bcA}	64.48±1.69 ^{aA}	8.17±0.24 ^{aA}	2.17±0.04 ^{aA}	82.35±2.24 ^{bcC}	41.71±1.77 ^{bcB}
热风干燥(HAD)	181.51±7.34 ^{abA}	64.05±2.87 ^{aA}	7.95±0.31 ^{abA}	2.22±0.09 ^{aA}	88.09±0.74 ^{abB}	44.32±2.07 ^{aA}
真空干燥(VD)	183.40±3.28 ^{aA}	61.91±1.75 ^{ba}	7.58±0.11 ^{ba}	2.12±0.09 ^{aA}	90.66±2.17 ^{aA}	44.30±2.24 ^{aA}
真空冷冻干燥(VFD)	167.28±10.34 ^{cA}	58.95±1.04 ^{bB}	6.51±0.22 ^{cb}	2.26±0.06 ^{aA}	79.95±2.70 ^{bcC}	41.42±1.96 ^{bcB}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

总糖、还原糖、总酸等含量高低直接影响橄榄果粉的感官品质。由表4可知,总糖含量最高为真空干燥,含量为183.40 mg/g,但与热风干燥无显著差异,与微波干燥和真空冷冻干燥之间差异显著。还原糖含量最高为微波干燥,含量为64.48 mg/g,与热风干燥差异不显著,但均显著高于其它2组。总酸含量最高为微波干燥,含量为8.17%,其次是热风干燥和真空干燥,而真空冷冻干燥总酸含量最低,为6.51%。这可能是糖酸物质等因长时间进行各类氧化反应而消耗较多^[13]。

蛋白质含量高低亦是评价果粉营养品质的重要指标。如表4所示,蛋白质含量最高的是真空冷冻干燥,为2.26 mg/g,最低的为真空干燥,但各组之间差异不显著。

多酚、黄酮类物质与橄榄高药理活性密切相关^[2, 31]。干燥过程中酚类和黄酮物质在受热时易发生氧化及聚合反应而导致含量下降,干燥温度和时间是影响这类物质降解的重要因素^[11, 13, 24]。由表4表示,总酚含量最高的为真空干燥,含量为90.66 mg/g,最低为真空冷冻干燥,含量为79.95 mg/g,两者之间差异极显著。这可能是由于大部分酚酸与碳水化合物和蛋白质等大分子相结合,而较高的温度破坏了组织细胞的结构从而有更多酚类物质溶出^[32]。类黄酮含量较高的为热风干燥和真空干燥,微波干燥和真空冷冻干燥含量较低,前后两者之间差异极显著。这可能是由于干燥过程中总酚、类黄酮含量变化因不同果种的物理化学特性不同而有不同影响^[23, 33-34]。

2.5 干燥方式对橄榄果粉外观的影响

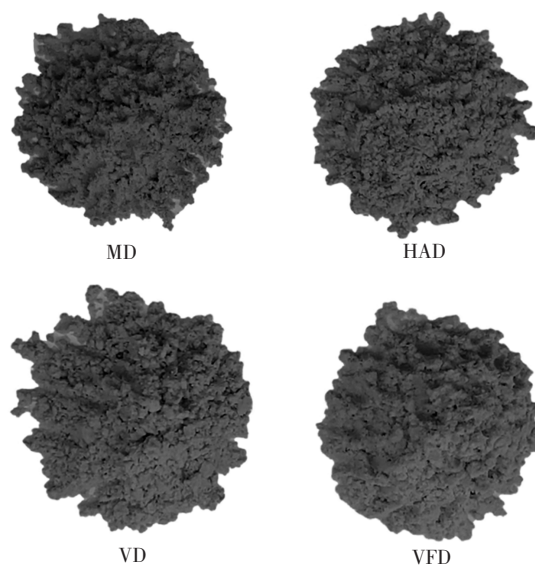
不同干燥方式对橄榄果粉外观的影响图1所示。

如图1所示,不同干燥方式的橄榄果粉外观色泽形貌差异明显,微波干燥和热风干燥颜色偏黄偏暗,尤其是微波干燥呈现出褐色,而真空冷冻干燥呈现出最亮最绿的疏松果粉,真空干燥呈现黄绿色泽。

2.6 干燥方式对橄榄果粉微观结构的影响

不同干燥方式对橄榄果粉微观结构的影响图2所示。

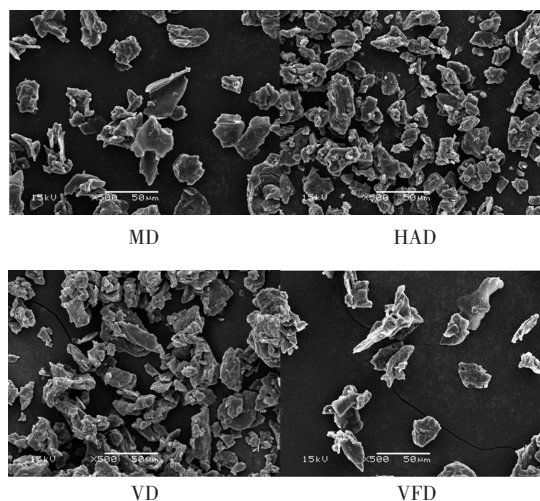
从图2中可看出,不同干燥方法对果粉微观结构影响差异不明显。微波干燥微观结构果粉颗粒较大表



MD. 微波干燥;HAD. 热风干燥;VD. 真空干燥;VFD. 真空冷冻干燥。

图1 干燥方式对橄榄果粉外观的影响

Fig.1 Effect of drying methods on appearance of olive powder



MD. 微波干燥;HAD. 热风干燥;VD. 真空干燥;VFD. 真空冷冻干燥。

图2 干燥方式对橄榄果粉微观结构的影响

Fig.2 Effect of drying methods on microstructure of olive powder

面较光滑,颗粒皱缩较少,颗粒间空隙较大。热风干燥果粉组织堆叠紧密,部分组织发生皱缩,果粉颗粒间空隙小。真空干燥果粉组织堆叠紧密、颗粒间空隙小,

果粉颗粒较大,部分果粉颗粒发生皱缩。真空冷冻干燥果粉颗粒较大,无明显褶皱收缩,颗粒表面较光滑,颗粒之间间隙大。

2.7 主成分分析

主成分分析是从多个变量之间的相互关系入手,将多个变量转化为少个互不相关的综合变量,从而达到降维的效果,并最大限度地保留原有信息量,通过寻求主成分来研究总体样本的一种统计方法^[35]。

通过对橄榄果粉 20 个品质相关指标进行主成分分析,得到特征主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率见表 5。根据主成分分析原理提取累计方差贡献率大于 85%的前 3 个主成分 F1、F2 和 F3,代表了 100.000%的信息量,成功将 20 个评价指标降至 3 个不相关的主成分,达到降维的目的。

表 5 提取 3 个主成分的特征值和方差贡献率

Table 5 Eigenvalues and contribution of three principal components

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	10.193	50.967	50.967	10.193	50.967	50.967
2	6.966	34.829	85.796	6.966	34.829	85.796
3	2.841	14.204	100.000	2.841	14.204	100.000

如表 5 所示,第 1 主成分贡献率为 50.967%;第 2 主成分贡献率为 34.829%;第 3 主成分贡献率为 14.204%。

各主成分载荷反映了各指标对各主成分的影响程度,载荷绝对值越大对主成分贡献率的影响也越大。主成分的特征向量与载荷矩阵如表 6 所示。

表 6 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 6 Eigenvectors and loading matrix of principal components

指标	主成分 1		主成分 2		主成分 3	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
L*	0.098	0.995	-0.011	-0.075	-0.022	-0.062
a*	0.095	0.973	-0.032	-0.223	-0.023	-0.065
b*	0.063	0.643	0.033	0.231	0.257	0.730
C	-0.081	-0.827	-0.019	-0.132	-0.192	-0.546
h°	0.094	0.960	-0.037	-0.261	-0.035	-0.099
叶绿素 a	-0.075	-0.763	-0.060	-0.420	0.173	0.490
叶绿素 b	-0.076	-0.777	-0.076	-0.530	0.119	0.339
叶绿素 a+叶绿素 b	-0.076	-0.775	-0.070	-0.489	0.141	0.401
堆积密度	-0.042	-0.426	0.127	0.886	0.065	0.184
流动性	0.095	0.970	-0.032	-0.221	-0.036	-0.103
吸油性	0.087	0.884	-0.013	-0.091	-0.161	-0.459
吸湿率	-0.018	-0.187	-0.141	-0.979	0.028	0.081
溶解度	0.063	0.638	0.079	0.549	0.190	0.540
复水性	-0.043	-0.442	-0.106	-0.735	-0.181	-0.513
总糖	-0.006	-0.061	0.143	0.998	-0.012	-0.034
还原糖	-0.093	-0.949	0.044	0.305	0.028	0.078
总酸	-0.091	-0.930	0.052	0.362	-0.021	-0.059
蛋白质	0.035	0.355	-0.073	-0.511	0.276	0.783
总酚	-0.010	-0.099	0.141	0.980	-0.061	-0.172
类黄酮	-0.005	-0.049	0.143	0.996	0.026	0.075

如表 6 所示,第一主成分主要包含 L*、a*、h°、流动性、还原糖和总酸等信息;第二主成分主要包含总糖、类黄酮、总酚和吸湿率等信息;第三主成分主要包含蛋白质、b*、C、溶解度、复水性等信息。

用各指标变量的主成分载荷和主成分相对应的特征值换算成每个指标所对应的系数,即特征向量,以特征向量为权重构建主成分的表达式,得到 3

个主成分的得分函数(表达式中的 X 不是原始变量,而是标准化变量),如式(6)~式(8)所示。

$$F_1=0.098X_1+0.095X_2+0.063X_3-0.081X_4+0.094X_5-0.075X_6-0.076X_7-0.076X_8-0.042X_9+0.095X_{10}+0.087X_{11}-0.018X_{12}+0.063X_{13}-0.043X_{14}-0.006X_{15}-0.093X_{16}-0.091X_{17}+0.035X_{18}-0.010X_{19}-0.005X_{20} \tag{6}$$

$$F_2 = -0.011X_1 - 0.032X_2 + 0.033X_3 - 0.019X_4 - 0.037X_5 - 0.060X_6 - 0.076X_7 - 0.070X_8 + 0.127X_9 - 0.032X_{10} - 0.013X_{11} - 0.141X_{12} + 0.079X_{13} - 0.106X_{14} + 0.143X_{15} - 0.044X_{16} - 0.052X_{17} - 0.073X_{18} + 0.141X_{19} + 0.143X_{20} \quad (7)$$

$$F_3 = -0.022X_1 - 0.223X_2 + 0.257X_3 - 0.192X_4 - 0.035X_5 + 0.173X_6 + 0.119X_7 + 0.141X_8 + 0.065X_9 - 0.036X_{10} - 0.161X_{11} + 0.028X_{12} + 0.190X_{13} - 0.181X_{14} - 0.012X_{15} + 0.028X_{16} - 0.021X_{17} + 0.276X_{18} - 0.061X_{19} - 0.026X_{20} \quad (8)$$

主成分 F_1 、 F_2 和 F_3 从不同方面反映不同干燥方式的橄榄果粉品质,为了综合分析,用 F_1 、 F_2 和 F_3 的方差贡献率作为权重数,对 F_1 、 F_2 和 F_3 进行加权,然后通过加和得到各个干燥方式的综合得分 F 的得分函数,如式(9)所示。

$$F = 0.50967F_1 + 0.34829F_2 + 0.14204F_3 \quad (9)$$

综合得分计算结果见表7。

表7 主成分综合得分和排名

Table 7 Scores and rankings of principal components

干燥方式	主成分 1	主成分 2	主成分 3	综合得分	综合得分排名
微波干燥(MD)	-1.183	0.118	-0.684	-0.658	4
热风干燥(HAD)	-0.362	-0.320	-0.136	-0.315	3
真空干燥(VD)	0.402	0.067	0.656	0.320	2
真空冷冻干燥(VFD)	1.143	0.135	0.164	0.653	1

综合得分越高,排名越靠前,果粉品质就越高,以此确定最佳干燥方式。其中,综合得分大于零表明果粉品质在平均水平之上,综合得分小于零表示果粉品质在平均水平之下。如表7所示,主成分分析所得综合评分结果为:真空冷冻干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥。

3 结论

4种干燥方式对橄榄果粉中色泽、物理特性、营养成分等品质指标的影响有一定差异。本试验利用主成分分析对其所有量化果粉品质指标进行综合评分结果为:真空冷冻干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥。其中,真空冷冻干燥橄榄果粉色泽品质最佳,真空干燥橄榄果粉物理特性相对较佳,热风干燥和真空干燥营养成分损失较小。果粉实际生产应用时,需根据产品特点需求选择适合的干燥技术,同时也应综合考虑设备成本、运行成本、时间成本及人工成本等,优化生产工艺,从而实现经济效益最大化。

参考文献:

- [1] 吴如健,万继锋,韦晓霞,等. 橄榄果实发育过程中单宁变化规律研究[J]. 福建农业学报, 2015, 30(5): 489-491.
- [2] 伍晓玲,项昭保. 橄榄营养成分和生物活性物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 346-352.
- [3] 赖瑞联,陈瑾,冯新,等. 橄榄多酚类物质研究进展[J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 208-217.
- [4] KUO C T, LIU T H, HSU T H, et al. Antioxidant and antiglycation properties of different solvent extracts from Chinese olive (*Canarium album* L.) fruit[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2015, 8(12): 1013-1021.
- [5] HE Z, XIA W. Analysis of phenolic compounds in Chinese olive (*Canarium album* L.) fruit by RPHPLC-DAD-ESI-MS [J]. Food Chemistry, 2007, 105(3): 1307-1311.
- [6] HE Z, XIA W. Nutritional composition of the kernels from *Canarium album* L[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 808-811.
- [7] 毕金峰,陈芹芹,刘璇,等. 国内外果蔬粉加工技术与产业现状及展望[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 8-14.
- [8] 张雨,陈义伦,马超,等. 适宜贮藏温度和添加剂提高苹果粉稳定性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 323-331.
- [9] ALASALVAR C, SALVADÓ J S, ROS E. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits [J]. Food Chemistry, 2020, 314: 126192.
- [10] HAMID M G, MOHAMED NOUR A A A. Effect of different drying methods on quality attributes of beetroot (*Beta vulgaris*) slices[J]. World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, 2018, 15(3): 287-298.
- [11] 苟小菊,刘冬,杨曦,等. 热风干燥温度对新疆红肉苹果粉品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 87-93.
- [12] 李伟,邵海燕,陈杭君,等. 不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 77-82.
- [13] 周禹含,毕金峰,陈芹芹,等. 不同干燥方式对枣粉品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 36-41.
- [14] 韩宗元,李晓静,白智慧,等. 喷雾干燥条件对树莓粉理化性质和抗氧化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 272-277.
- [15] 刘岩龙,张彩丽,李婷婷,等. 不同干燥方式对樱桃果粉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 26-30.
- [16] 夏亚男,侯丽娟,齐晓茹,等. 食品干燥技术与设备研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 204-208.
- [17] RATSEEW J, MEESO N, SIRIAMORN PUN S. Changes in amino acids and bioactive compounds of pigmented rice as affected by far-infrared radiation and hot air drying [J]. Food Chem, 2020, 306: 125644.
- [18] 刘云宏,朱文学,马海乐. 山茱萸真空干燥模型建立与工艺优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 118-122.
- [19] TAN S, WANG Z W, XIANG Y Y, et al. The effects of drying methods on chemical profiles and antioxidant activities of two cultivars of *Psidium guajava* fruits[J]. LWT, 2020, 118: 108723.
- [20] 磨正遵,商飞飞,潘中田,等. 山楂果粉喷雾干燥参数工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 100-105.

- [21] 张文琴, 王晓燕, 宋高林. 不同干燥方式对黄刺玫果粉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(7): 218-224.
- [22] 王颖倩, 张伟, 朱科学, 等. 响应面优化菠萝蜜果粉真空冷冻干燥工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 177-184.
- [23] 邓媛元, 汤琴, 张瑞芬, 等. 不同干燥方式对苦瓜营养与品质特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 362-371.
- [24] SUMIĆ Z, TEPIĆ A, VIDOVIĆ S, et al. Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 55-63.
- [25] 程安玮, 解红霞, 齐岩, 等. 干燥方式和温度对草莓果粉性质及多酚含量的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 132-135.
- [26] 秦樱瑞, 黄先智, 曾艺涛, 等. 干燥方法对苦瓜降糖成分含量的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 56-61.
- [27] BHANDARI B, BANSAL N, ZHANG M. Handbook of food powders: processes and properties[M]. Sawston: Handbook of Food Powders Processes and Properties, 2015: 16-19.
- [28] COSTA F O, PAIS A A C C, SOUSA J J S. Analysis of formulation effects in the dissolution of ibuprofen pellets [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2004, 270(1/2): 919.
- [29] 王莹, 王辉, 王富, 等. 干燥方式对秋葵超微粉理化特性及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 114-119.
- [30] 李国鹏, 祝婉炽, 陈倩欣, 等. 不同番石榴品种果粉功能特性差异比较[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 124-127, 132.
- [31] ZHANG L L, LIN Y M. Tannins from *Canarium album* with potent antioxidant activity [J]. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 2008, 9(5): 407-415.
- [32] WOJDYŁO A, FIGIEL A, OSZMIANNŃSKI J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57 (4): 1337-1343.
- [33] DANIEL D L, HUERTA B E B, SOSA I A, et al. Effect of fixed bed drying on the retention of phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of Roselle(*Hibiscus sabdariffa* L.)[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 40: 268-276.
- [34] SHOFIAN N M, HAMID A A, OSMAN A, et al. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12(7): 4678-4692.
- [35] 王沛, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 204-211.

加工编辑: 姚骏

收稿日期: 2020-05-22

富强、民主、文明、和谐，
自由、平等、公正、法治，
爱国、敬业、诚信、友善。