

干燥方法对杏肉全粉品质及抗氧化活性的影响

Effect of drying methods on quality and antioxidant properties of apricot powder

赵红霞¹ 王应强¹ 温建华²

ZHAO Hong-xia¹ WANG Ying-qiang¹ WEN Jian-hua²

文 文¹ 毛雅倩¹ 宋文丽¹

WEN Wen¹ MAO Ya-qian¹ SONG Wen-li¹

(1. 陇东学院农林科技学院, 甘肃 庆阳 745000; 2. 南京澳润微波科技有限公司, 江苏 南京 210041)

(1. College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000, China;

2. Nanjing Orient Microwave Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210041, China)

摘要:采用微波干燥(MD)、热风干燥(HAD)、微波真空干燥(MVD)、微波对流干燥(MCD)4种干燥方法制备纯天然杏肉全粉,比较了干燥方法对杏肉全粉营养成分、物理特性、感官品质和抗氧化能力的影响。结果表明,干燥方法对杏肉全粉品质的影响显著($P < 0.05$),MVD和MCD2种方法干燥的杏肉全粉总糖和还原糖保留较好,并且MCD法干燥的产品总酚和 V_C 损失最少,而HAD法对总酸的保留最好;MD法制备的产品吸湿性和结块度最低,MCD法制备的产品堆积密度和休止角最小,且获得的感官评价分值最高(95.2分);制备的杏肉全粉还原力及清除DPPH、超氧阴离子和羟自由基的能力呈显著的量效依赖性且存在显著差异,MVD法制备的产品对DPPH自由基清除能力最强,而MCD对羟自由基、超氧阴离子自由基的清除能力最强,还原力也最大,分别为88.5%,85.1%,1.98。

关键词:微波干燥;热风干燥;微波真空干燥;微波对流干燥;杏肉全粉;品质;抗氧化能力

Abstract: The natural apricot powder was prepared by microwave drying (MD), hot air drying (HAD), microwave vacuum drying (MVD) and microwave convection drying (MCD) and their nutritional, physical, sensory and antioxidant properties were compared. Significant differences among the determined quality terms of the four products were observed ($P < 0.05$), the MVD and MCD products had the higher total sugar and reducing sugar and the latter had the

least loss in total phenol and V_C content while the HAD product the best retention of total acid, the apricot meat powder prepared by MD had the lowest hygroscopicity and caking degree. The apricot meat powder prepared by MCD method had the smallest bulk density and repose angle and the highest sensory score (95.2). The ability of reducing power, scavenging DPPH, superoxide anion and hydroxyl radical of apricot meat powder showed a significant quantity-effect dependence. The apricot meat powder prepared by MVD showed the strongest DPPH radical scavenging ability while the apricot meat powder by MCD had the highest hydroxyl radical (88.5%) and superoxide anion radical scavenging capacity (85.1%) as well as the maximum reducing power (1.98).

Keywords: microwave drying; hot air drying; microwave vacuum drying; microwave convection drying; apricot meat powder; quality; antioxidant capacity

杏 (*Armeniaca vulgaris Lam.*) 是蔷薇科李属植物,原产于中国新疆,迄今已有 3 000 多年的栽培历史^[1]。杏果实含有大量植物化学物质,如多酚、类胡萝卜素和维生素等,这些物质使它们不仅味美色艳、酸甜适口、香味怡人,而且对癌症及慢性疾病具有一定的保健功效^[2-3],深受人们喜爱。但是杏的产季集中,容易腐烂,不耐贮藏,保鲜较困难,常温下一般只能存放 3~7 d^[4],为了延长保存期限,人们已经采取了许多方法,例如将鲜杏加工成杏脯、杏干和杏罐头等适合长期储藏的杏制品;另外中国已经建立起杏浆和杏饮料的生产线,但生产能力仍然十分有限,40%~50%的鲜杏还需要在产地加工成杏干制品。自然晾晒是目前生产杏干制品最常用的方法,但是存在不卫生 and 产品质量较差的缺点,且一般晾晒中低浓度熏硫是最常用的预处理方法,这会造成杏干制品中硫残存,与目前市场上对无硫杏干制品的要求相悖,因

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31460398);陇东学院博士科研启动基金(编号:2014XYBY11);陇东学院青年科技创新项目(编号:XYZK1707)

作者简介:赵红霞,女,陇东学院实验师,硕士。

通信作者:王应强(1979—),男,陇东学院副教授,博士。

E-mail: sxxds2008@163.com

收稿日期:2018-05-06

此大力发展杏深加工技术是解决这一问题的重要途径。

果蔬粉是将新鲜果蔬通过干法或湿法制备成粉状产品,因其具有营养丰富、美味、易贮存、易携带、易冲调、用途广等优点而备受国内外学者青睐^[5]。目前果蔬粉的研究主要有枣粉^[6]、紫薯全粉^[7]、雪莲果粉^[8]、南瓜粉^[9]、猕猴桃粉^[10]、火龙果粉^[11]和西蓝花粉^[12]等,对杏肉全粉的研究较少。刘超等^[13]以浓缩杏浆为原料,经稀释、二次均质、喷雾干燥工序生产了杏粉。目前果蔬粉加工企业采用的干燥技术主要有喷雾干燥、热风干燥、冷冻干燥、微波干燥、变温压差膨化干燥及超微粉碎技术^[5]等,其中喷雾干燥制粉较多。微波辅助干燥技术将微波辐射立体快速加热和传统干燥技术中除湿量大的优点相结合,具有干燥时间短、能耗低的优点,与传统干燥技术相比,微波辅助干燥可以缩短干燥时间25%~90%,减少能耗32%~71%^[14]。各种方法都有优缺点,选择合适的干燥技术对果蔬粉的品质特性至关重要,而有关杏肉全粉微波组合干燥技术的研究未见报道。

本研究拟采用微波干燥、热风干燥、微波真空干燥和微波对流干燥4种干燥方法对鲜杏干燥制备杏肉全粉,考察干燥方法对杏肉全粉营养成分、物理特性和抗氧化能力的影响,以期为高品质纯天然杏肉全粉产品的制备提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜的曹杏:购于当地蔬菜批发市场;

偏亚硫酸氢钠、无水乙醇、福林酚试剂、甲醇、没食子酸、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、水杨酸、盐酸、邻苯三酚、铁氰化钾、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、氯化钠等:分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

热风干燥箱:101型,北京科伟永兴仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HH-1型,金坛市亿能实验仪器厂;

可见分光光度计:7200型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

低速离心机:TDL-40B型,上海安亭科学仪器厂;

微波对流干燥器:ORW1.0S-3000R型,南京澳润微波科技有限公司;

微波真空干燥器:ORW 1.2S-5Z型,南京澳润微波科技有限公司;

多功能粉碎机:600Y型,永康市铂欧五金厂。

1.2 试验方法

1.2.1 原料预处理 挑选成熟鲜杏清洗去核后切为4瓣,立即放入1.5 g/L的偏亚硫酸氢钠溶液中护色1 h^[15],取出沥干表面水分后备用。

1.2.2 杏肉全粉制备

(1) 热风干燥(HAD):在电热鼓风干燥箱内进行,200 g样品平铺在干燥箱内的不锈钢载物盘上,在热风温度为70℃的条件下干燥10.5 h以确保水分含量在5%以下。

(2) 微波真空干燥(MVD):采用微波真空干燥器(50 cm×50 cm×50 cm),取200 g样品平铺在聚乙烯塑料载物盘上,在功率密度2 W/g、温度50℃、真空度95 kPa条

件下干燥1 h以确保水分含量在5%以下。

(3) 微波对流干燥(MCD):采用自主设计的微波对流干燥器^[16],取200 g样品平铺在聚乙烯塑料载物盘上,在功率密度1.25 W/g、物料表面温度和热风温度均为60℃的条件下干燥2.5 h以确保水分含量在5%以下。

(4) 微波干燥(MD):采用自主设计的微波对流干燥器,取200 g样品平铺在载物盘上,在功率密度1.25 W/g、物料温度60℃的条件下干燥3.5 h以确保水分含量在5%以下。

干燥结束后将杏肉包装在聚乙烯塑料袋中,均湿1周后粉碎过60目筛得到杏肉全粉产品,密封保存用于质量评估。

1.2.3 测定指标

(1) 水分含量的测定:参照文献^[17]。

(2) 总糖含量的测定:按GB/T 5009.8—2003蒽酮比色法执行。

(3) 还原糖含量的测定:按GB/T 5009.7—2008直接滴定法执行。

(4) 总酸含量的测定,按GB/T 5009.1877—2003酸碱滴定法执行。

(5) V_c含量的测定:采用2,6-二氯酚酚滴定法。

(6) 总酚含量的测定:采用Folin-Ciocalteu比色法^[7,18]。结果以每100 g杏肉全粉干基中含有相当于没食子酸毫克数表示,单位mg/100 g。

(7) 堆积密度的测定:将杏肉全粉从漏斗散落至10 mL量筒,测定10 mL杏肉全粉的质量,以换算其堆积密度。

(8) 休止角的测定:称取样品适量,将漏斗固定于标纸上方一定高度,从漏斗加入样品直到在坐标纸上形成的堆积圆锥顶部与漏斗底部刚好接触,测定圆锥半径*r*(cm),以漏斗底高*h*(cm)与圆锥半径*r*(cm)的比值作为正切值计算休止角 $\tan \theta$ (°)^[19]。

(9) 吸湿性的测定:参考Jaya等^[20]方法,略作改动。称取1 g杏肉全粉放于称量瓶中,而后置于装有饱和氯化钠的盐液(30℃时平衡相对湿度为79%)的干燥器中,密封后放于温度30℃的恒温恒湿环境中平衡1~3周,每隔2 d测定1次样品的质量,直至前后2次质量差不超过0.005 g,即为恒重,杏肉全粉的吸湿性按式(1)计算:

$$HG = \frac{\frac{b}{a} + W_i}{1 + \frac{b}{a}}, \quad (1)$$

式中:

HG——吸湿性,%;

W_i——测量前的初始含水率,%;

b——粉体增加的质量,g;

a——测量时样品的质量,g。

(10) 结块度的测定:粉末吸湿性指标测定结束后,将称量瓶中的粉末置于(102±2)℃的干燥箱中干燥1 h。干燥样品冷却后称重,然后转移至40目分样筛中,对分样筛摇动5 min。称量分样筛上残留的杏肉全粉质量,结块度按式(2)计算:

$$DC = \frac{c}{d} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

DC——结块度, %;

d ——测量时样品的质量, g;

c ——筛分后留在分样筛上粉体的质量, g。

(11) DPPH 自由基清除能力的测定:参照文献[21]。

(12) 羟自由基清除能力的测定:参照文献[22]。

(13) 超氧阴离子自由基清除能力的测定:采用邻苯三酚自氧化法[23]。

(14) 还原力的测定:采用普鲁士蓝法[7]。

1.2.4 感官评价 制备的杏肉全粉感官评定主要从产品的色泽、组织状态、气味、滋味和冲调性进行综合评分,评分标准见表 1。制备的样品随机由 10 名专业食品感官评定员进行综合评价打分,结果取平均值。

表 1 杏肉全粉感官评定标准

项目	评价标准	分值
色泽	具有杏固有的黄亮色(10),均匀一致有光泽(10)	20
组织状态	呈疏松、均匀的粉状(10),无结块现象(10)	20
气味、滋味	具有杏特有的香气(10),酸、甜适口(20),无焦糊或其它异味(10)	40
冲调性	100 °C 热水冲调后无结块(10),均匀一致(10)	20

1.2.5 数据处理 用 SPSS 15.0.1 软件进行差异性显著性分析,结果以($\bar{x} \pm SD$)表示,Microsoft Excel 2007 软件进行标准误差计算及制图。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对杏肉全粉营养成分的影响

表 2 为经不同干燥方法制备的杏肉全粉的营养成分。采用不同干燥方式制备的杏肉全粉含水量为 3.84%~4.85%,都能达到果蔬粉贮藏安全水分要求。从表 2 中可以看出,干燥后杏肉全粉总糖、还原糖、总酸、 V_c 、总酚的含量均有损失,其中 HAD 法干燥的损失最多。而经 MVD 法和 MCD 法干燥后,样品中总糖、还原糖、总酸含量(以干基计)分别为 11.34,10.33,0.82 g/100 g 和 11.3,10.28,0.81 g/100 g,损

失率分别为 0.08%,20.8%,34.4%和 0.04%,25.6%,35.2%。而经过 HAD 法干燥后,样品中的总糖、还原糖、总酸含量(以干基计)分别为 8.32,6.30,1.08 g/100 g,损失率分别为 26.7%,37.4%,1.61%。MVD 法和 MCD 法 2 种干燥方法对鲜杏总糖和还原糖保留较好,而 HAD 法对总酸的保留最好。这主要是因为热处理过程中,有机酸作为反应物参与了美拉德反应[15]。MCD 法制备的产品总多酚和 V_c 含量(以干基计)最高,分别为 17.22,5.86 mg/100 g,其次依次为 MVD 法和 MD 法,HAD 法最低。这可能是 MCD 法和 MVD 法都选用了较短的干燥时间,且干燥过程中温度较低,从而导致 V_c 和总酚损失较少;而 HAD 法不仅干燥时间长,且温度较高,干燥过程中由于发生酶或热降解而导致总酚和 V_c 损失[24-25]。相比较鲜样,4 种干燥方法总酚损失率为 8.9%~42.3%, V_c 的损失率为 17.0%~47.4%。

2.2 干燥方式对杏肉全粉物理特性与感官品质的影响

不同干燥方法对杏肉全粉物理特性的影响见表 3。从表 3 中可以看出,干燥方法对杏肉全粉堆积密度、休止角、吸湿性和结块度影响显著($P < 0.05$)。选用 MCD 法制备的产品堆积密度低于其他干燥方法,其值为 0.42 g/mL;MD 法和 MVD 法的堆积密度略高,分别为 0.50,0.58 g/mL,HAD 法粉末的堆积密度最大为 0.63 g/mL。MVD 法和 MD 法因微波加热,导致产品轻微膨化,形成微孔较少,组织蓬松,制备的粉末堆积密度略高;而 HAD 法干燥过程中,杏肉片收缩研制,制备的粉末组织结构较为致密,所以堆积密度最高。粉末的流动性主要取决于粉末颗粒度的大小及粉末表面的特性,休止角越小,流动性越好,颗粒间的摩擦力也越小。杏肉全粉休止角由小到大的顺序为:MCD < MD < MVD < HAD。一般而言,休止角为 36°~40°时,粉末流动性较好;41°~45°时流动性合格;46°~90°时流动性较差[26]。HAD 法制备的杏肉全粉流动性合格,其他法制备的杏肉全粉流动性较好。杏肉全粉吸湿性由低到高的顺序为:MD < MCD < MVD < HAD。杏肉全粉的吸湿性主要与其糖类有关[8],具体原因还待下一步研究。杏肉全粉的结块度与吸湿性变化趋势一致。选用 MD、MCD 和 MVD 法制备的杏肉全粉结块度显著低于 HAD 法。粉末结块主要与其后期贮藏温度及湿度有关。因此,为避免杏肉全粉在加工和贮存中出现发黏、结块等现象,因此要严格控制粉末的含水率、贮藏环境的相对湿度和选用适宜的包装材料,以免受潮结块。不同干燥

表 2 干燥方式对杏肉全粉营养成分的影响[†]

Table 2 Effect of drying method on the nutrient content of apricot powder

干燥方式	水分含量/ %	总糖/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)	还原糖/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)	总酸/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)	V_c / ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)	总酚/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)
MD	4.24 ± 0.35 ^a	10.04 ± 0.05 ^a	8.08 ± 0.11 ^b	0.79 ± 0.09 ^{bc}	5.42 ± 0.09 ^a	16.10 ± 0.29 ^a
MCD	4.85 ± 0.11 ^b	11.31 ± 0.23 ^a	10.28 ± 0.16 ^a	0.81 ± 0.27 ^a	5.86 ± 0.14 ^b	17.22 ± 0.18 ^b
MVD	4.74 ± 0.25 ^a	11.34 ± 0.16 ^b	10.33 ± 0.26 ^a	0.82 ± 0.15 ^a	5.60 ± 0.35 ^c	16.91 ± 0.35 ^c
HAD	3.84 ± 0.15 ^{bc}	8.32 ± 0.05 ^a	6.30 ± 0.31 ^c	1.08 ± 0.02 ^c	3.68 ± 0.26 ^b	10.98 ± 0.89 ^b
鲜杏	87.14 ± 0.15 ^d	11.35 ± 0.02 ^c	10.55 ± 0.21 ^a	1.25 ± 0.07 ^b	7.20 ± 0.21 ^a	18.90 ± 0.25 ^a

[†] 同列不同字母表示有显著差异($P < 0.05$)。

表 3 干燥方式对杏肉全粉物理特性的影响[†]

Table 3 Effect of drying method on the physical characteristics of apricot powder

干燥方式	堆积密度/(g·mL ⁻¹)	休止角/(°)	吸湿性/%	结块度/%	感官评分
MD	0.54±0.05 ^a	39.3±2.4 ^a	22.9±1.4 ^a	61.2±2.4 ^a	87.2±2.4 ^a
MCD	0.42±0.01 ^b	36.9±1.4 ^b	24.6±2.1 ^b	62.5±2.4 ^b	95.2±1.4 ^b
MVD	0.58±0.02 ^a	38.7±3.0 ^a	25.8±1.2 ^a	65.1±2.1 ^a	85.3±1.0 ^a
HAD	0.63±0.03 ^{bc}	45.7±1.9 ^c	32.9±2.9 ^c	78.4±0.9 ^c	90.5±1.2 ^c

† 同列不同字母表示有显著差异(P<0.05)。

方法对杏肉全粉感官评分存在显著差异(P<0.05),感官评分由高到低的顺序为:MCD>HAD>MD>MVD。MD和MVD法在干燥过程中出现过度加热现象,局部温度过高(>100℃),导致原料中出现烧焦和糊味。

2.3 杏肉全粉体外抗氧化能力评价

2.3.1 干燥方式对杏肉全粉 DPPH 自由基清除能力的影响

DPPH 自由基法的检测原理是杏肉全粉中的多酚物质提供电子与 DPPH· 的孤对电子配对,使 DPPH· 在 515 nm 波长处的特征紫颜色减弱,被测样品若对 DPPH· 表现出了有效的清除,则证明样品具有中断脂质过氧化链反应、减小羟基和烷基自由基的作用^[26-27]。

由图 1 可知,4 种干燥方法制备的杏肉全粉均表现出对 DPPH 自由基有一定的清除能力,且趋势一致,清除率均随着浓度的增加而升高。当样品浓度超过 0.03 mg/mL 时,4 种干燥方法制备的杏肉全粉对 DPPH 自由基的清除能力大小顺序为:MVD>MCD>MD>HAD。在清除 DPPH 自由基中,MVD 法制备的样品表现出了较强的清除能力,可能是 MVD 法是选用较低的微波温度且处于真空状态,当样品浓度达到 0.30 mg/mL 时,对 DPPH 自由基的清除率达到了 94.5%。选用 HAD 法制备的样品 DPPH 自由基清除率较低,这主要是因为热风干燥温度高,且干燥时间长,导致酚类等抗氧化物质的分解,与 Caparino 等^[28]对果蔬粉抗氧化能力的研究结果一致。

2.3.2 干燥方式对杏肉全粉羟自由基清除能力的影响

羟自由基(·OH)是具有激发油脂过氧化反应的强氧化剂,也是脂质过氧化过程的快速诱发剂^[29]。图2为采用不同干

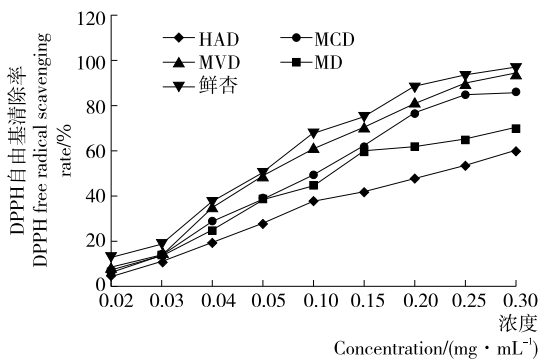


图 1 不同干燥方法制备的杏肉全粉对 DPPH· 的清除能力

Figure 1 DPPH radical scavenging ability of apricot powder prepared by different drying methods

燥方式制备的杏肉全粉的清除羟自由基能力。从图 2 中可以看出,各样品均表现出一定的清除能力,且随着样品浓度的增加清除能力增大,表现出一定的量效关系。当浓度为 0.03 mg/mL 时,4 种干燥方式制备的样品的清除能力很接近。当浓度超过 0.05 mg/mL 时,MCD 法表现出较强的清除能力,可能是 MCD 法结合微波快速加热与热风对流干燥除湿量大^[16],从而达到快速干燥的目的,有效地降低了抗氧化物质的损失。当浓度达到 0.30 mg/mL 时,选用 MCD 法制备的杏肉全粉的清除羟自由基清除率为 88.5%,而选用 HAD 法的清除率仅 58.7%。

2.3.3 干燥方式对杏肉全粉超氧阴离子自由基清除能力的影响

选用样品浓度为 0.02~0.30 mg/mL 时,测试 4 种不同干燥方式制备的样品对超氧阴离子自由基的清除能力,并与新鲜样品进行比较,结果如图3所示。各试样清除超氧阴

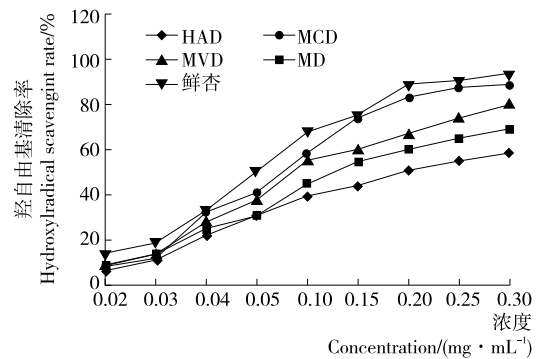


图 2 不同干燥方法制备的杏肉全粉对羟自由基的清除能力
Figure 2 Hydroxyl radical scavenging ability of apricot powder prepared by different drying methods

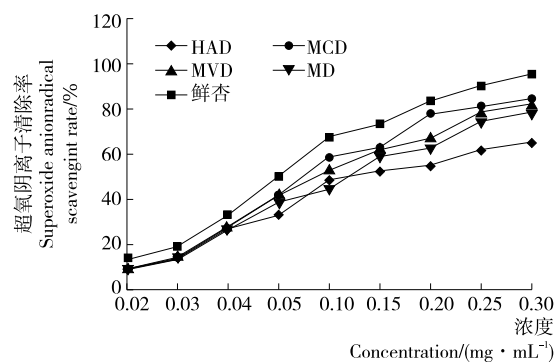


图 3 不同干燥方法制备的杏肉全粉对超氧阴离子自由基的清除能力

Figure 3 Superoxide anion radical scavenging ability of apricot powder prepared by different drying methods

离子自由基的能力均随着样品质量浓度的增加呈上升趋势,并显示出一定的量效关系。当样品浓度达到 0.15 mg/mL 时,MCD 和 MVD 2 种干燥方法制备的样品对超氧阴离子自由基清除率几乎达到一致,均为 62.9%,其后,随着样品浓度的增加,MCD 表现出较强的清除能力。4 种干燥法清除能力大小依次为:MCD>MVD>MD>HAD。

2.3.4 干燥方式对杏肉全粉还原力的影响 由图 4 可知,新鲜样品表现出较好的还原能力,在选取的浓度范围内,随着样品浓度的增加,4 种干燥方式处理的样品还原力均增加。一般情况下,样品的还原力越强,其抗氧化性也越高。4 种干燥方式处理的杏肉全粉还原力存在显著差异($P<0.05$),其中 MCD 法最优,其次依次为 MVD 法、MD 法和 HAD 法,与对羟自由基和超氧阴离子自由基的清除能力测定结果一致。

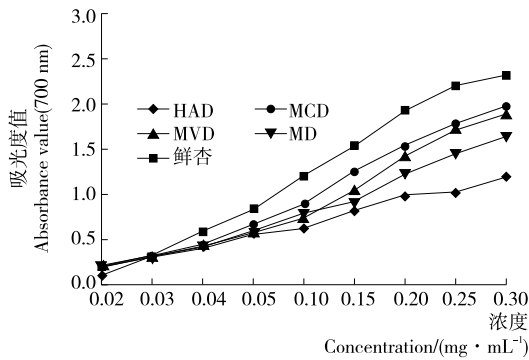


图 4 不同干燥方法制备的杏肉全粉的还原能力

Figure 4 Reducing power of apricot powder prepared by different drying methods

3 结论

干燥方式对杏肉全粉的营养成分、吸湿性、结块性、堆积密度、休止角均有显著影响。MVD 和 MCD 2 种干燥方法对鲜杏总糖和还原糖保留较好,且 MCD 法的总酚和 V_C的损失最少,而 HAD 法的总酸保留最好。MD 法制备的产品吸湿性和结块度最低;MCD 法制备的产品堆积密度和休止角最小,且产品感官品质好。产品的还原力、清除 DPPH 自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基的能力呈显著的量效依赖性且存在显著差异,MVD 法制备杏肉全粉的 DPPH 自由基清除能力最强,而 MCD 法的对羟自由基、超氧阴离子自由基的清除能力最强,还原力也最大。

杏肉全粉可以作为食品配料用于即冲型固体饮料、烘焙食品与面条等主食食品的营养强化,也可作为营养功能性成分提取制备的原料等。适宜干燥技术的选择取决于干燥产品特定的用途、设备的投资成本和运行费用等经济因素。综合分析,MCD 法在杏肉全粉制备中能较完整地保持其营养成分,品质好且抗氧化性强,可作为制备杏肉全粉经济节能的适宜干燥新方法。

参考文献

[1] 任宝生. 我国杏树的栽培历史及生产现状与发展方向[J]. 图书情报导刊, 2007, 17(32): 148-150.
[2] GARDNER P T, WHITE T A C, MCPHAIL D B, et al. The

relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices[J]. Food Chemistry, 2000, 68(4): 471-474.

[3] RICE-EVANS C A, MILLER N J, PAGANGA G. Antioxidant properties of phenolic compounds[J]. Trends in Plant Science, 1997, 2(4): 152-159.
[4] 史增录, 张绢, 张学军, 等. 新疆鲜杏干制加工机械的研究现状[J]. 安徽农业科学, 2014(31): 11 177-11 179.
[5] 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.
[6] 乔小全, 任广跃, 段续, 等. 黑枣粉喷雾干燥工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 207-212.
[7] 文玉, 刘嘉, 彭珍, 等. 干燥方式对紫薯全粉水合特性及抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(6): 119-124.
[8] 马占强, 石启龙. 干燥方法对雪莲果粉品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 201-205.
[9] 孔庆新, 祝冬青. 微波干燥法生产南瓜粉的研究[J]. 食品工业科技, 2006(9): 150-152.
[10] BENLLOCHT M, MORAGA G, CAMACHO M D M, et al. Combined drying technologies for high-quality kiwifruit powder production[J]. Food & Bioprocess Technology, 2013, 6(12): 3 544-3 553.
[11] TZE N L, HAN C P, YUSOF Y A, et al. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant [J]. Food Science & Biotechnology, 2012, 21(3): 675-682.
[12] 杨华, 杨性民, 孙金才. 不同干燥方式对西兰花蔬菜粉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7): 152-158.
[13] 刘超, 于佳佳, 陈恺, 等. 杏粉喷雾干燥工艺的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(6): 1 110-1 115.
[14] TSOTSAS E, MUJUMDAR A S. Modern drying technology: process intensification, volume 5[M]. Weinheim: Wiley-VCH, 2014: 279-312.
[15] IGUAL M, GARCÍA-MARTÍNEZ E, MARTÍN-ESPARZA M E, et al. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot[J]. Food Research International, 2012, 47(2): 284-290.
[16] 王应强, 温建华, 刘爱青, 等. 浸泡与米水比例对预烹调小米微波对流恒温干燥特性与品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 190-195.
[17] 唐璐璐, 易建勇, 毕金峰, 等. 丰水梨中短波红外干燥特性和品质变化规律[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 64-69.
[18] KUBILAY G, MEHMET A, ÖZYÜREK Mustafa, et al. Antioxidant capacity of fresh, sun- and sulphited-dried Malatya apricot (Prunus armeniaca) assayed by CUPRAC, ABTS/TEAC and folin methods[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 41(S1): 76-85.
[19] ZHANG Min, ZHANG Cai-ju, SHRESTHA S. Study on the preparation of superfine ground powder of Agroclybe chaxingu Huang[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(3): 333-337.
[20] JAYA S, DAS H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(2): 125-134.

(下转第 220 页)

《食品与机械》

中国食品科学技术学会会刊
CSCD 核心期刊 中文核心期刊

更专业 权威论坛 基础研究 研究进展
更实用 安全与检测 提取与活性 开发应用
包装与机械 贮藏与保鲜 市场分析
月刊 国内邮发代号:42-83 每期 20 元
国际邮发代号:DK43003 每期 12 美元

地址:长沙市天心区赤岭路 45 号长沙理工大学内
电话:0731-85258200 85258201
邮编:410076
网址:<http://ifoodmm.com>
E-mail:foodmm@vip.sina.com

2019 年《食品与发酵工业》征订启事

邮发代号:2-331(月刊)

《食品与发酵工业》创刊于 1970 年,由中国轻工业联合会主管,中国食品发酵工业研究院、全国食品与发酵工业信息中心主办。

《食品与发酵工业》是北大中文核心期刊、科技部中国科技核心期刊和中科院中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊,被美国化学文摘(CA)、英国食品科技及工艺文摘(FSTA)等数据库收录。

刊载内容:食品与发酵工业相关的原辅料、工艺、包装、机械、检测、安全、流通、综合利用等方面的研究报告以及国内外食品与发酵科技发展动态和产业创新等综述性文章。

定价:50 元/期,在编辑部订阅全年享 8 折优惠。

地址:北京市朝阳区酒仙桥中路 24 号院 6 号楼 111 室

电话:010-53218337/8/9

邮编:100015

E-mail:ffeo@vip.sina.com

<http://sf1970.cnif.cn>

国内统一刊号:CN11-1802/TS

国际标准刊号:ISSN0253-990X

广告发布登记号:京朝工商广登字第20170155号



(上接第 120 页)

- [8] 李光宇. 基于 EVA-DTS 的自动售货机监控系统[D]. 长沙:中南大学, 2010: 11-38.
- [9] 邓子龙, 刘峰, 李维军. CCLink 现场总线技术及在调和罐变频控制中的应用[J]. 机械设计与制造, 2008(6): 83-85.
- [10] 苏海峰. 基于 CCLINK 的校园智能照明系统的设计[J]. 自动化技术与应用, 2012, 31(12): 96-99.
- [11] 李维军, 赵英杰, 李萍. CCLink 现场总线技术在调和罐变频控制中的应用[J]. 机电一体化, 2007(5): 65-68.
- [12] 黄凤. 应用 CCLINK 总线技术建立加工中心生产线的网络管理[J]. 制造业信息化, 2010(1): 118-120.
- [13] 唐国庆, 宋显斌. CCLINK 总线在胎面挤出生产线控制系统中的应用[J]. 装备制造技术, 2012(6): 67-68.
- [14] 余贞金. 基于 CCLINK 现场总线的 PLC 控制系统研究与设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010: 18-42.

- [15] 苏旭, 李保国. 鲜切果蔬自动售货机设计[J]. 轻工机械, 2015, 33(3): 77-80.
- [16] ANDRÉ S P H Navarro, CARLOS M F Monteiro, CARLOS B Carreira. A Mobile Robot Vending Machine for Beaches Based on Consumers' Preferences and Multivariate Methods[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2015(175): 122-129.
- [17] SOLANO A, DURO N, DORMIDO R, et al. Smart vending machines in the era of internet of things[J]. Future Generation Computer Systems, 2017(76): 215-220.
- [18] CUNHA B, LIMA J, SILVA M, et al. User centered design of an autonomous robot vending machine concept[C]//IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions. Piscataway: IEEE, 2016: 259-264.

(上接第 205 页)

- [21] PUUPPONEN P, HAKKINEN S, AARNI M, et al. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83: 1 389-1 402.
- [22] YANG Xiao-ming, WEI Yu, OU Zhong-ping, et al. Antioxidant and immunity activity of water extract and crude polysaccharide from *Ficus carica* L. fruit[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2009, 64(2): 167-173.
- [23] 王应强, 崔凤杰, 赵红霞, 等. D-异抗坏血酸棕榈酸酯(IP)的抗氧化特性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 79-82.
- [24] 李晓丽, 王成, 陶永霞, 等. 干燥方式对无核紫葡萄品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 143-211.
- [25] OLIVEIRA S M, BRANDÃO T R S, SILVA C L M, et al. In-

fluence of Drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: a review[J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(2): 134-163.

- [26] 王弘, 陈宜鸿, 马培琴. 粉体特性的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2006, 15(18): 1 535-1 539.
- [27] 陈玮琦, 郭玉蓉, 张娟, 等. 干燥方式对苹果幼果干酚类物质及其抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 33-37.
- [28] CAPARINO O A, TANG J, NINDO C I, et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111(1): 135-148.
- [29] 程知庆, 沈和定, 姚理想, 等. 干燥方法对瘤背石磺多糖抗氧化性和还原力的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 169-172.