

干燥方式对黑枣粉品质特性的影响

Effects of different drying methods on the powder quality characteristic in *Dateplum persimmon*

乔小全¹ 任广跃^{1,2} 乔梦³ 段续^{1,2}

QIAO Xiao-quan¹ REN Guang-yue^{1,2} QIAO Meng³ DUAN Xu^{1,2}

张乐道^{1,2} 卢映洁¹ 田晓玉¹

ZHANG Le-dao^{1,2} LU Ying-jie¹ TIAN Xiao-yu¹

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 食品加工与安全国家实验教学示范中心, 河南 洛阳 471023; 3. 南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Processing and Security, Luoyang, Henan 471023, China; 3. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097, China)

摘要:以黑枣为原料,运用热风、微波、喷雾、变温压差膨化、真空冷冻 5 种干燥方法制备黑枣粉,并对其湿润下沉性、分散性、溶解度、堆积密度等物理性质进行研究,采用变异系数权重法计算 5 种黑枣粉的综合评分,探索干燥方式对黑枣粉品质特性的影响,以明确黑枣粉最佳干燥方式。结果表明:分散性、湿润下沉性、吸湿性、溶解度在产品评价中所占权重较大,分别为 0.239,0.236,0.217,0.168。综合评分表明喷雾干燥制备的黑枣粉品质最优,其次是变温压差膨化干燥,真空冷冻干燥和微波干燥次之,热风干燥制备的黑枣粉品质最差,综合评分分别为 0.161,0.026,-0.026,-0.06,-0.089。变温压差膨化干燥所制备的黑枣粉品质特性较好,且产率高、成本低,适宜于黑枣粉的工业化生产。

关键词:黑枣粉;变异系数权重法;综合评分;干燥;品质特性

Abstract: Fruits of *Dateplum persimmon* were dried to flours by five different drying methods, including hot-air drying, microwave drying, spray-drying, explosion puffing drying, vacuum freeze-drying, and the physical properties of the five powders were measured, such as wetting sinking time, dispersity, solubility, bulk density. The effects of different drying methods on *D. persimmon*

powder quality characteristic was investigated. The Weight of Variation Coefficient were used to determine comprehensive score of the powders to determine the best method to dry. The results showed that the dispersibility, wet sinking ability, moisture absorption, solubility property of the five powders accounted for a larger proportion, which were represented 0.239, 0.236, 0.217, 0.168. Comprehensive score results showed that the best drying methods wasspray-drying, followed by vacuum freeze-drying, then explosion puffing drying and microwave drying, the hot-air drying worst, which were represented: 0.161, 0.026, -0.026, -0.06, -0.089, respectively. In conclusion, *D. persimmon* powder made by explosion puffing drying has better quality characteristic with high drying efficiency and low cost, which was suitable for industrial production.

Keywords: *Dateplum persimmon* powder; the Weight of Variation Coefficient; comprehensive score; drying; quality characteristic

黑枣又名软枣、君迁子,主要分为有核和无核两大类^[1]。黑枣能够提高人体免疫力,抑制癌细胞的生长繁殖^[2],还能促进体内白细胞的生长,使血清胆固醇含量降低,进而提高血清白蛋白,保护人体肝脏。对防治骨质疏松,产后贫血都有重要作用。黑枣果含总糖 45.7%、果胶 3.00%~3.84%、蛋白质 1.83%、淀粉 41%、单宁 0.98%,其中 V_C 含量为 97.9 mg/100 g 黑枣果,是梨、苹果、杏、桃等水果的 14~32 倍^[3-4]。因此,黑枣的营养价值非常丰富,可作为多种保健品、食品研发的理想原料。在中国,传统医学已将黑枣果肉用于退热和促进内分泌,对补肾和养胃的功效明显,有“营养仓库”之称^[5]。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31671907);国家重点研发项目(编号:2017YFD0400901);河南省高校科技创新团队支持计划资助(编号:16IRTSTHN009);智汇郑州·1125 聚才计划(编号:郑政[2017]40 号)

作者简介:乔小全,男,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:任广跃(1971—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail:guangyueyao@163.com

收稿日期:2018-04-14

制备果蔬粉的干燥技术主要有热风、真空冷冻、变温压差膨化、微波、喷雾干燥等^[6]。热风干燥操作简便,生产成本低,但其操作温度高,干燥时间长并且产品容易出现褐变现象^[7];真空冷冻干燥是在低温环境下进行操作的一种干燥方法,具有保持果蔬原生的生物活性物质的作用,但操作时间长、成本与能耗高^[8];变温压差膨化干燥技术是非油炸膨化干燥果蔬的一种新型、环保、节能的干燥方法,其干燥效率高,很大程度上保留了果蔬大部分的色泽、风味和营养^[9];微波干燥采用立体式加热方式可使果蔬水分迅速蒸发,降低操作时间,但会使果蔬局部过热,致使产品易产生较大程度的褐变;喷雾干燥技术具备干燥时间短、速度快,广泛应用于果蔬干燥^[10]。目前,有关黑枣干燥产品相关研究报道并不多见,乔小全等^[11]采用酶解辅助喷雾干燥制备黑枣粉,并对其工艺进行优化,产率为 26.89%;刘春晖等^[12]对真空冷冻干燥技术制备黑枣干进行了研究。但关于利用变异系数权重法评价不同干燥方法制备黑枣粉的品质特性未见报道。

变异系数法(Coefficient of variation method)是按照各项指标所含信息计算其权重的一种评价方法。采用变异系数法能使专家赋值的主观性被有效避免,能够相对客观地反映实际情况,还能够对各项指标间的差异程度进行衡量,消除量纲,以使黑枣粉各指标相关重要情况得以客观体现,因其是一种有效的评价方法而被应用于各个方面,任广跃等^[13]通过不同干燥方式制备怀山药全粉,并测定其物理性质和多糖含量,利用变异系数权重法对怀山药干燥全粉的品质进行评价;孙曼兮等^[14]利用 6 种干燥方法对通江段木银耳干制处理,并分析测定感官评分、复水比、褐变度和能耗等指标,采用变异系数法进行加权评分,获取最佳干燥方式;郭函等^[15]通过在面食中添加 5 种不同天然抗氧化剂,测定其加工前后丙酮提取物对各种自由基的清除率,利用变异系数法全面评价面制品的抗氧化性能。

本试验选取黑枣为原料,通过预试验较优结果并结合果蔬干燥相关研究,确定采用热风、真空冷冻、变温压差膨化、微波、喷雾 5 种干燥方法制备黑枣粉,按照变异系数法,对 5 种不同干燥方法制得的黑枣粉各个指标的权重进行计算,同时对试验数据进行标准化计算,最后通过使用加权平均法计算 5 种不同干燥方法下制得的黑枣粉的综合评分,以明确黑枣粉的最佳干燥方式,为开发研制高品质速溶黑枣粉参数优化及实现工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

纯天然野生黑枣:河北省赞皇县太行山黑石村;
柠檬酸:食品级,广州市京糖生物科技有限公司;
V_C:食品级,河南东顺化工产品有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:JA-B/N 型,上海佑科仪表有限公司;
手持式糖度计:WYT-32 型,上海易测仪器设备有限公司;
旋转蒸发器:RE52-3 型,郑州华瑞仪器有限公司;
数显电热鼓风干燥箱:CS101-1EBN 型,东莞市爱佩试

验设备有限公司;

实验型喷雾干燥机:SP-1500 型,上海顺仪实验设备有限公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-10D 型,北京四环科学仪器厂有限公司;

微波干燥箱:NN-K566WS 型,松下电工有限公司;

变温压差果蔬膨化干燥机:QDPH10-1 型,诸城市众工机械有限公司;

高速多功能粉碎机:HC-200 型,浙江省永康市金穗机械制造有限公司;

紫外可见分光光度计:UV759 型,上海生析超声仪器有限公司;

台式高速冷冻离心机:7GL-20M 型,湖南湘仪实验仪器开发有限公司;

电热数显恒温水浴锅:DZKW-4 型,北京中兴伟业仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 黑枣预处理 选取无伤病、无虫害的黑枣,将其表面清洗干净后放置于 80 ℃、2% NaOH 溶液中浸泡 1 min,目的是破坏其表皮结构,促使黑枣表皮通透性变大,继而提升干燥效率^[16];待物料冷却后,洗去黑枣表面残留碱液,再置于混合护色液中(2.0 g/100 g 柠檬酸和 0.1 g/100 g V_C混合均匀)护色 10 min,抑制其在干燥过程中的褐变^[17]。清水洗净护色后的黑枣,去核,平均切成 6 瓣,以使黑枣片的厚度均匀一致,约为 5~8 mm。

1.3.2 操作要点

(1)微波干燥:将上述护色后的黑枣切片放置于微波干燥器中,在微波功率 800 W、微波频率 2 450 MHz 的条件下进行干燥,利用间歇式加热,中火加热时间 40 s,间歇时间 20 s,总干燥时间 30 min^[18],粉碎后过 60 目筛。

(2)热风干燥:将上述护色后的黑枣切片放置于 60 ℃、风速 3.5 m/s 的热风干燥箱中,待干燥完全后将其粉碎并过 60 目筛。

(3)真空冷冻干燥:将上述护色后黑枣切片在-20 ℃的低温冷冻机预冻 10 h,然后待冷阱温度达到-50 ℃后,将经预冻处理过的黑枣切片迅速转移至干燥室,开启真空泵和真空计,等真空度降低至 10 Pa 以下后,将真空计关闭进行干燥。待原料温度达到室温后结束干燥,粉碎后过 60 目筛。

(4)变温压差膨化干燥:将上述护色后黑枣切片在 60 ℃环境下采用热风预干燥 2 h 后,放置于变温压差果蔬膨化干燥罐内,设置膨化温度 90 ℃、停滞时间 10 min、膨化压力 0.2 MPa、抽空温度 65 ℃、抽空时间 3 h^[19],运用在线监测黑枣膨化干燥过程含水量的变化,直至物料干基含水量≤7%时为干燥终点,干燥结束后粉碎过 60 目筛。

(5)喷雾干燥:对黑枣原料 70 ℃水浴处理 2 h,使黑枣皮充分软化,便于酶解和打浆[料液比 1:2 (g/mL)]。精确称取一定的黑枣浆,复合酶添加量为枣浆质量的 0.2%,调节浆液 pH 4.5,温度 50 ℃,酶解 90 min 后高温灭酶 15 min。调节干燥条件为进气温度 176 ℃、阿拉伯胶添加量 53%、入

料流量 818 mL/h,进行喷雾干燥处理。用高速多功能粉碎机粉碎干制后的黑枣,每次打粉时间 10 s,时间间隔 5 min,以降低其温度。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 湿润下沉性的测定 准确称量黑枣粉 5 g,分散于 50 mL 蒸馏水的水面上,静置条件下,记录黑枣粉全部湿润下沉的时间,记为样品湿润下沉时间^[20]。

1.4.2 分散性的测定 准确称量黑枣粉 5 g,溶解于 50 mL 蒸馏水中,以 140 r/min 转速在磁力搅拌器中搅拌,测定黑枣粉全分散所需时间,记为样品分散时间^[21]。

1.4.3 溶解度的测定 称取 5 g 黑枣粉加入 100 mL 去离子水,100 r/min 高速搅拌 5 min,3 000 r/min 离心 5 min,取上清液 25 mL 置于 105 ℃ 烘干,按式(1)计算上清液中干物质含量所占的比例。

$$X = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%,$$
 (1)

式中:

- X——溶解度,%;
- m₁——上清液中干物质的质量,g;
- m₂——黑枣粉的质量,g。

1.4.4 堆积密度的测定 称量 5 g 黑枣粉在同一高度装入 15 mL 的量筒,并振动量筒,记录体积,按式(2)计算堆积密度。

$$D = \frac{m}{V},$$
 (2)

式中:

- D——堆积密度,g/mL;
- m——黑枣粉质量,g;
- V——黑枣粉体积,mL。

1.4.5 流动性的测定 在铁架台上将漏斗固定并保持垂直,实验台铺上洁净白纸,白纸到漏斗口的距离记为 h,将黑枣粉沿漏斗内壁均匀倒入,测定黑枣粉所形成的圆锥半径 r,按式(3)计算休止角^[21]。

$$\theta = \arctan(h/r),$$
 (3)

式中:

- θ——休止角,(°);
- h——白纸到漏斗口的距离,cm;
- r——圆锥半径,cm。

1.4.6 吸湿性的测定 称量 5 g 黑枣粉置于干燥铝盒中,在玻璃干燥器中添加氯化钠饱和溶液(环境相对湿度 75%),并将铝盒置于其中保存 7 d,按式(4)计算吸湿性^[22]。

$$B = \frac{W_1 - W_2}{m_3} \times 100\%,$$
 (4)

式中:

- B——吸湿性,%;
- W₁——吸湿后黑枣粉以及铝盒的总质量,g;
- W₂——吸湿前黑枣粉以及铝盒的总质量,g;
- m₃——吸湿前黑枣粉的质量,g。

1.4.7 复水性的测定 准确称量 5 g 黑枣粉和 20 mL 蒸馏

水混合均匀后放置于 50 mL 离心管中,在 25 ℃ 的恒温水浴锅中静态放置 1 h,以 3 000 r/min 的转速在离心机中离心 20 min,最后对沉淀物进行准确称量,按式(5)计算复水性^[23]。

$$RR = \frac{W_4 - W_3}{W_3} \times 100\%,$$
 (5)

式中:

- RR——复水性,%;
- W₃——复水前黑枣粉的质量,g;
- W₄——复水后黑枣粉的质量,g。

1.5 综合评分

上述各指标权重系数将利用变异系数法进行确定,首先对试验数据标准化处理之后,再通过使用加权平均法对 5 种不同干燥方法下制得的黑枣粉的综合评分进行计算,指标变异系数按式(6)计算^[24]:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{X_i},$$
 (6)

式中:

- V_i——黑枣粉冲调性能第 i 项指标的变异系数;
 - σ_i——黑枣粉冲调性能第 i 项指标的标准差;
 - X_i——黑枣粉冲调性能第 i 项指标的算术平均值。
- 黑枣粉冲调性能的各指标权重依照式(7)计算:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}.$$
 (7)

各指标的数据利用 Z-score 标准化法进行标准化处理,按式(8)计算:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{\sigma_i},$$
 (8)

式中:

- Z_{ij}——试验数据标准化后的变量值;
- X_{ij}——试验数据的实际变量值;
- X_i——黑枣粉冲调性能第 i 项指标的算术平均值;
- σ_i——黑枣粉冲调性能第 i 项指标的标准差。

黑枣粉品质特性指标中的休止角、湿润下沉性、分散性、堆积密度、吸湿性的试验数据值越小越好,试验数据标准化之后需在前面加负号。5 种不同干燥方法下制得的黑枣粉的综合评分值是将各项指标标准化后的数据分别乘以对应权重后再求和。

1.6 数据处理

试验数据均用 Origin 8.5 与 DPS 8.05 进行处理与分析。每组试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 对黑枣粉分散性及湿润下沉性的影响

粉体分散性及湿润下沉性是评价黑枣粉冲调性能的关键指标。粉体在蒸馏水中分散时间越短,则说明黑枣粉在水中难于结团,可较快地在水中均匀扩散;湿润下沉时间越短,则说明黑枣粉与蒸馏水接触后湿润下沉速度越快,二者时间越短可表明黑枣粉具有良好的速溶性。由表 1 可以看出,喷

雾干燥制得的黑枣粉分散时间及湿润下沉时间最短,分别为 45.86,197.89 s,可能是喷雾干燥制备的黑枣粉颗粒间孔隙度适中,利于水分流动与排除,进而增强了亲水基团对水分的吸附作用;而热风干燥制备的黑枣粉分散时间及湿润下沉时间相对较长,分别为 65.01,233.62 s,可能是热风干燥制得的黑枣粉颗粒间孔隙度相对较小且易结块,降低湿润比表面积,继而延长黑枣粉湿润下沉的时间。

表 1 干燥方法对黑枣粉分散性及湿润下沉性的影响

Table 1 Effects of different drying methods on dispersibility and wet sinking time solubility of Dateplum Persimmon

干燥方法	分散时间	湿润下沉时间
热风	65.01	233.62
真空冷冻	49.82	201.28
微波	57.91	220.16
喷雾	45.86	197.89
变温压差膨化	48.59	200.92

2.2 对黑枣粉溶解度的影响

由图 1 可知,5 种干燥方式制备的黑枣粉溶解度差异比较显著。其中,喷雾干燥黑枣粉溶解度最大,可能是在其制备过程中,添加了具有高度可溶性的阿拉伯胶,其次是变温压差膨化干燥,真空冷冻干燥和微波干燥次之,热风干燥黑枣粉溶解度最差,可能是其制备的产品在溶解时,易产生结块,降低溶解度。

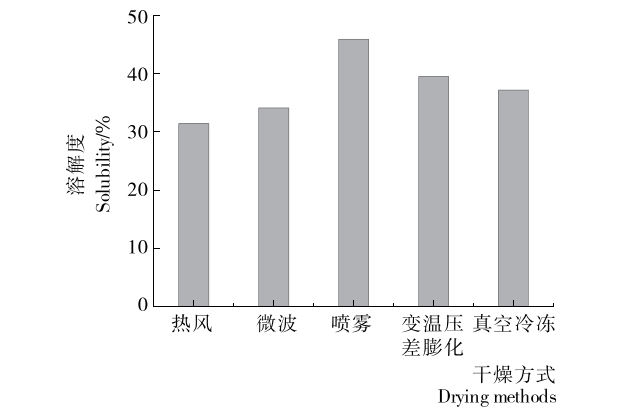


图 1 干燥方式对黑枣粉溶解度的影响

Figure 1 Solubility of Dateplum persimmon powder made by different drying methods

2.3 对黑枣粉堆积密度的影响

堆积密度是反映黑枣粉质构的重要指标之一。由图 2 可以看出,不同干燥方法对黑枣粉堆积密度的影响顺序依次是:变温压差膨化干燥、热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥、喷雾干燥。这和周禹含等^[25]及司金金等^[26]的研究结果类似。可能是热风干燥过程中,热风流量严重影响黑枣粉的平均粒径,致使粉体在质量相同的情况下,粉体体积相对变小;微波干燥中,在微波源的作用下,黑枣可在较短时间内迅速升温,致使产品内部结构变得较为紧致;真空冷冻干燥中,在

真空与冷冻双重的作用下,黑枣原生的内部疏松结构可得以保持;喷雾干燥中,经过高压均质及雾化器雾化后,可使黑枣粉粒度变小,进而使产品质地疏松;粉体堆积密度越大,对产品压片的制成越有利^[27],因此,变温压差膨化以及热风干燥制得的黑枣粉对产品压片的制成非常有利。

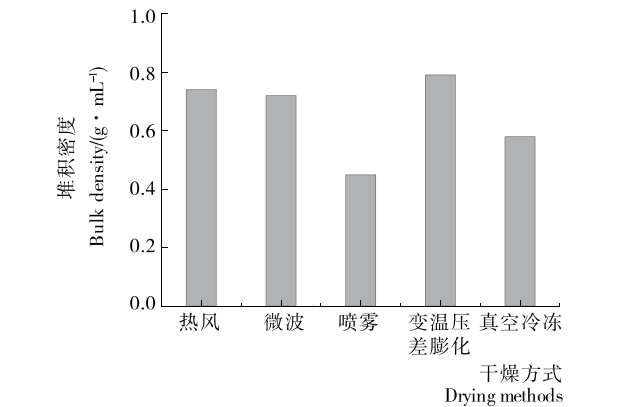


图 2 干燥方式对黑枣粉堆积密度的影响

Figure 2 Bulk density of Dateplum Persimmon powder made by different drying methods

2.4 对黑枣粉流动性的影响

测定与评价粉体流动性的方法比较多,其中测量确定粉体的休止角是评价粉体流动性较为简便的方法之一。当粉体的休止角值越小,产品颗粒之间相互摩擦力就会变得越小,进而促使粉体具有良好的流动性。测量确定粉体的流动性,在产品的生产、运输、装填等方面和不同成分中药制剂的相互混合、成型、装量等方面都具有重要意义^[28]。由图 3 可看出,不同干燥方式对黑枣粉休止角的影响顺序依次为:喷雾干燥、热风干燥、微波干燥、变温压差膨化干燥、真空冷冻干燥。一般而言,当粉体的休止角<45°时,说明粉体具有较好的流动性;当粉体的休止角>45°时,则说明粉体具有较差的流动性^[29]。真空冷冻干燥、变温压差膨化干燥的黑枣粉流动性基本合格且差异不显著,可能是真空冷冻和变温压差膨化能够使产品原生性状得以保持,产品内部结构较为疏松,粉体颗粒之间的相互摩擦力较小,继而使粉体具有较好

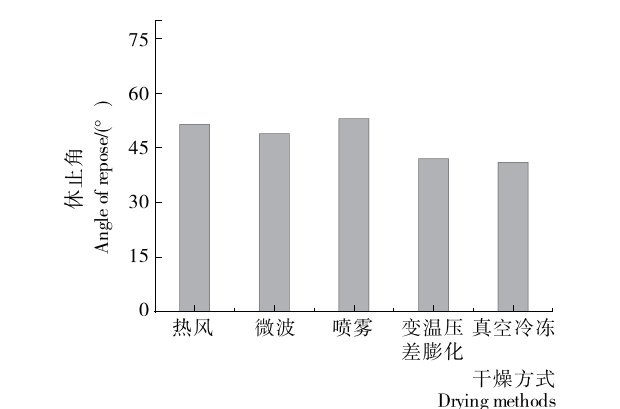


图 3 干燥方式对黑枣粉休止角的影响

Figure 3 Angle of repose of Dateplum persimmon powder made by different drying methods

的流动性。喷雾和热风干燥制得的黑枣粉与其它 3 种干燥方式相比较而言,其流动性较差,可能是操作温度较高,使粉体颗粒表面易发生焦糊现象,经过粉碎处理之后粉体颗粒大小不均或者喷雾干燥后粉体内部分子易团聚,使颗粒间摩擦力增大。

2.5 对黑枣粉吸湿性的影响

吸湿性强的产品易发生粉体结块、流动性降低、潮解等现象,这些现象都可大大降低产品的物理、化学以及生物的稳定性的,其吸湿性强弱直接影响产品货架期的长短,进而制约产品的研制开发^[30]。由图 4 可知,不同干燥方式对黑枣粉吸湿性的影响较为显著,影响顺序为:喷雾干燥、热风干燥、变温压差膨化干燥、微波干燥、真空冷冻干燥。真空冷冻干燥制备的黑枣粉难于吸收外界水分而潮解,易于贮藏;喷雾干燥的黑枣粉易吸湿,并在此过程中粉体性状呈现较大变化,粉体状态可由原先的粉质转变为凝胶状,因此在后期的包装过程中,应选择适宜的包装方式和材料。

2.6 对黑枣粉复水性的影响

干制品复水性是衡量产品好坏的重要参数之一^[31]。由图 5 可知,黑枣粉复水性因干燥方式不同而有较大区别,复水性由高到低依次是真空冷冻干燥、变温压差膨化干燥、热风干燥、微波干燥、喷雾干燥。真空冷冻干燥因其多孔、质地疏松,所以复水性最佳;喷雾干燥可能是由于干燥过程中,物料自身温度瞬间升高,致使物料内部组织遭到一定程度的破坏,进而影响产品的复原能力,也可能与粉体的纤维素、淀粉

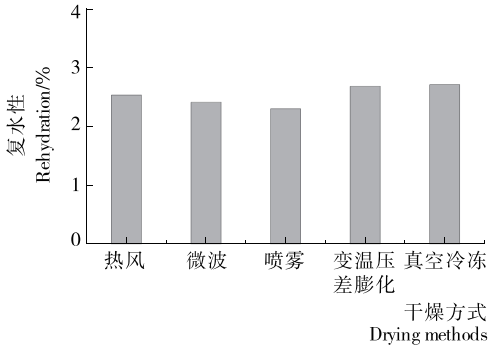


图 5 干燥方式对黑枣粉复水性的影响

Figure 5 Rehydration of Dateplum Persimmon powder made by different drying methods

含量及内部束水的位置不同^[32]而呈现不同的复原能力。

2.7 对黑枣粉冲调性能的综合评分

使用变异系数法对不同干燥方法制备的黑枣粉的各个指标平均值、标准差、变异系数及权重分别进行计算,计算结果见表 2。由表 2 可知,黑枣粉的分散性、湿润下沉性、吸湿性、溶解度所占权重较大,可较为客观地体现在黑枣粉的品质特性评价中。

表 2 黑枣粉各项指标的权重

Table 2 The Weights of various indicators of Dateplum Persimmon powder				
指标名称	平均值	标准差	变异系数	权重
分散性	53.438	49.586	0.928	0.239
湿润下沉性	210.774	192.654	0.914	0.236
溶解度	37.652	24.521	0.651	0.168
堆积密度	0.656	0.015	0.023	0.006
休止角	47.272	24.066	0.509	0.131
吸湿性	25.782	21.671	0.841	0.217
复水性	2.534	0.024	0.009	0.002

依照 5 种不同干燥方法制得的黑枣粉的 7 个指标值及各指标权重,分别计算出 5 种不同干燥方法制备的黑枣粉各个指标的标准化值和粉质特性的综合评分值,见表 3、4。

由表 4 可知,喷雾干燥制备的黑枣粉品质最佳,其次是变温压差膨化干燥和真空冷冻干燥,微波干燥次之,热风干燥制备的黑枣粉品质最差。

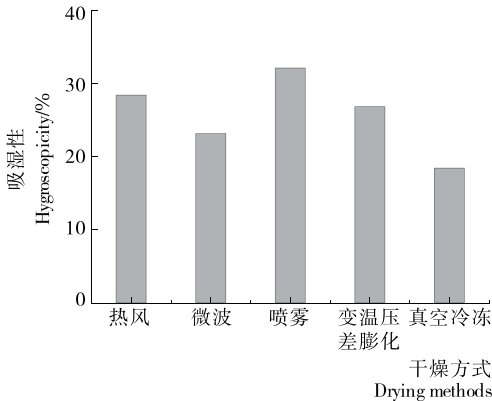


图 4 干燥方式对黑枣粉吸湿性的影响

Figure 4 Hygroscopicity of Dateplum Persimmon powder made by different drying methods

表 3 黑枣粉各个指标的标准化值

Table 3 Standardized data of evaluation indices of Dateplum Persimmon powder

指标	热风干燥	真空冷冻干燥	微波干燥	喷雾干燥	变温压差膨化干燥
分散性	−0.233	−0.073	−0.090	−0.153	−0.098
湿润下沉性	−0.119	−0.049	−0.049	−0.067	−0.051
溶解度	−0.254	−0.016	−0.143	0.336	0.078
堆积密度	5.600	5.067	4.267	13.733	8.933
休止角	−0.172	0.259	0.063	0.243	−0.219
吸湿性	0.121	−0.339	−0.121	0.289	0.050
复水性	0.250	7.750	−4.750	−9.333	6.083

表 4 黑枣粉冲调性能的综合评分

Table 4 Comprehensive evaluation of the solubility of Dateplum Persimmon powder

指标	热风干燥	真空冷冻干燥	微波干燥	喷雾干燥	变温压差膨化干燥
分散性	−0.056	−0.017	−0.022	−0.037	−0.023
湿润下沉性	−0.028	−0.012	−0.012	−0.016	−0.012
溶解度	−0.043	−0.003	−0.024	0.056	0.013
堆积密度	0.034	0.030	0.026	0.082	0.054
休止角	−0.023	0.034	0.008	0.032	−0.029
吸湿性	0.026	−0.074	−0.026	0.063	0.011
复水性	0.001	0.016	−0.010	−0.019	0.012
综合评分	−0.089	−0.026	−0.06	0.161	0.026

3 结论

经 5 种干燥方法制备的黑枣粉的物理特性分别表现为：喷雾干燥制得的黑枣粉分散时间及湿润下沉时间最短且溶解度最大,喷雾干燥黑枣粉和热风干燥制得的黑枣粉吸湿性较好,变温压差膨化干燥和真空冷冻干燥制备的黑枣粉流动性和复水性较好。

在 5 种不同干燥方法下,由各项指标所占权重可知,分散性、湿润下沉性、吸湿性、溶解度所占权重较大,分别为 0.239,0.236,0.217,0.168,由此可知这 4 项指标在评价黑枣粉粉质特性时占重要地位。比较 5 种不同干燥方式制备黑枣粉的冲调性能,由综合评分值可知:5 种黑枣粉冲调性能由高到低依次是:喷雾干燥、变温压差膨化干燥、真空冷冻干燥、微波干燥、热风干燥,所对应的综合评分为:0.161,0.026,−0.026,−0.06,−0.089。后期将对干燥能耗、多糖含量、营养成分等作进一步的研究。

参考文献

[1] MASUMIYa-ma-gi-shi, SHIGEHITO Matsumoto, AKIRA Nakatsuka, et al. Identification of persimmon (diospyros kaki) cultivars and phenetic relationships between diospyros species by more effective rapd analysis[J]. Sci Hortic(Amsterdam), 2005, 105(2): 283-290.

[2] GLEW H R, AYZA A F, MILLSON M, et al. Changes in sugars, acids and fatty acids in naturallyparthenocarpic dateplum persimmon (*Diospyros lotus* L.) fruit during maturation and ripening[J]. European Food Research and Technology, 2005, 221(1/2): 113-118.

[3] 唐霞, 梁爽, 张华, 等. 发酵型黑枣酒加工工艺的研究[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 1-5.

[4] 畅凌冰, 王治军, 梁臣, 等. 黑枣的价值及繁育[J]. 绿色科技, 2012(10): 68-69.

[5] 刘慎愕. 东北植物检索表[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 402-403.

[6] 刘亚男. 怀山药全粉的制备及其性质研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017: 2-6.

[7] HSU C. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods[J]. Food Chemistry, 2003, 83(1): 85-92.

[8] 黄略略, 乔方, 叶晓梦, 等. 不同干燥方式对铁棍山药品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(11): 1 210-1 215.

[9] 王萍, 易建勇, 毕金峰, 等. 菠萝蜜热风-变温压差膨化干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 218-222.

[10] ZIELINSKA Magdalena, MICHALSKA Anna. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum*, L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture [J]. Food Chemistry, 2016, 212: 671-680.

[11] 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.

[12] 刘春晖, 谢春阳. 响应面法对黑枣真空冷冻干燥时间工艺的优化[J]. 食品工业, 2015, 36(3): 199-202.

[13] 任广跃, 刘亚男, 乔小全, 等. 基于变异系数权重法对怀山药干燥全粉品质的评价[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 53-59.

[14] 孙曼兮, 陈丽娟, 刘刚, 等. 通江段木银耳的干燥工艺[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 102-106.

[15] 郭函, 迟莹莹, 陈诗豪, 等. 加工方式对外施抗氧化剂制品抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2017(24): 69-75.

[16] 杜卫华, 杨性民, 肖功年, 等. 改善真空冷冻干燥豌豆复水性的工艺研究[J]. 食品科技, 2006, 31(2): 28-32.

[17] 李波, 芦菲, 王东玲. 杏鲍菇干制的非硫护色方法研究[J]. 农业工程学报, 2008(5): 258-260.

[18] 刘静波, 马爽, 刘博群, 等. 不同干燥方式对全蛋粉冲调性能的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 383-388.

[19] 毕金峰, 周禹含, 陈芹芹, 等. 干燥方法对超微枣粉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 150-156.

[20] JUMAH R Y, TASHTOUSH B, SHAKER R R, et al. Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed[J]. Drying Technology, 2000, 18(4/5): 967-984.

[21] 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.

[22] 霍树春, 李锋, 李建科, 等. 不同比表面积山梨醇粉体的吸湿性实验研究[J]. 食品科学, 2007, 29(9): 83-85.

[23] SU Hwan Kim, YOUNG Jin Choi, HANNA Lee. Physico-chemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 271-279.

(下转第 220 页)

(上接第 172 页)

- [28] MONTOWSKA M, POSPIECH E. Species-specific expression of various proteins in meat tissue: Proteomic analysis of raw and cooked meat and meat products made from beef, pork and selected poultry species[J]. Food Chem, 2013, 136(3/4): 1 461-1 469.
- [29] DANEZIS G P, TSAGKARIS A S, CAMIN F, et al. Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2016, 85: 123-132.
- [30] KUMAR Y, CHANDRAKANT KARNE S. Spectral analysis: A rapid tool for species detection in meat products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 62: 59-67.
- [31] BILGE G, VELIOGLU H M, SEZER B, et al. Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Meat Science, 2016, 119: 118.
- [32] 毛晓婷. 光谱分析技术在食品及医药检测上的应用[D]. 杭州: 中国计量学院, 2016: 70.
- [33] GARRIDO-NOVELL C, GARRIDO-VARO A, PÉREZ-MA-RÍN D, et al. Using spectral and textural data extracted from hyperspectral near infrared spectroscopy imaging to discriminate between processed pork, poultry and fish proteins[J]. Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems, 2018, 172: 90-99.

(上接第 194 页)

- [24] 郭文强, 安裕伦, 刘世曦. 基于变异系数法的贵州省石漠化驱动力研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9 158-9 159, 9 223.
- [25] 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.
- [26] 司金金, 辛丹丹, 王晓芬, 等. 干燥方式对红薯叶粉品质特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(6): 1-9.
- [27] COSTA F O, PAIS A A C C, SOUSA J J S. Analysis of formulation effects in the dissolution of ibuprofen pellets[J]. Interna-

- [34] 王毅虎, 王颖, 张兵. 傅里叶变换红外光谱在区分牛明胶和猪明胶方面的潜在应用[J]. 明胶科学与技术, 2011(3): 140-144.
- [35] 孟一, 张玉华, 王家敏, 等. 基于近红外光谱技术快速识别不同动物源肉品[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 156-158.
- [36] 马灵飞, 周围, 张雅珩, 等. 基于脂肪酸差异的肉制品中猪源性成分鉴别方法的研究[J]. 分析测试学报, 2016, 35(10): 1 295-1 300.
- [37] SHA Xiao-mei, HU Zi-zi, TU Zong-cai, et al. The identification of three mammalian gelatins by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 74-86.
- [38] Man Y B C, TAN Chin-ping, NORAINI I, et al. Detection of lard adulteration in rbd palm olein using an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 829-835.
- [39] NURJULIANA M, CHE MAN Y B, MAT HASHIM D. Analysis of lard's aroma by an electronic nose for rapid halal authentication [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 88(1): 75-82.
- [40] TIAN Xiao-jing, WANG Jun, CUI Shao-qing. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(4): 744-749.

(上接第 206 页)

- [8] 张思, 王蕾, 张志旭, 等. 16 种市售酵素食品功能分析与评价[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 196-200.
- [9] 郭艳萍, 赵金安. 葡萄酵素天然发酵过程中抗氧化性能研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 35-38.
- [10] SULASIYAH S, SARJONO P R, AMININ A L N. Antioxidant from turmeric fermentation products (*Curcuma longa*) by *Aspergillus Oryzae*[J]. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 2018, 21(1): 13-18.
- [11] OLADEJI B S, AKANBI C T, GBADAMOSI S O. Effects of fermentation on antioxidant properties of flours of a normal endosperm and quality protein maize varieties[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(1): 1-11.
- [12] JGF A, ASSIS V L, AJPO A, et al. Antioxidant and vasorelaxant activities induced by northeastern Brazilian fermented grape skins[J]. BMC Complementary & Alternative Medicine, 2017, 17(1): 376.
- [13] 韦仕静, 刘涛, 葛亚中, 等. 西兰花酵素在发酵过程中生化指标

tional Journal of Pharmaceutics, 2004, 270(1/2): 9-19.

- [28] 章波, 冯怡, 徐德生, 等. 粉体流动性的研究及其在中药制剂中的应用[J]. 中成药, 2008, 30(6): 904-907.
- [29] 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.
- [30] 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226-229.
- [31] 吴锦铸, 胡卓炎, 何松, 等. 干制工艺对胡萝卜复水性的影响[J]. 食品科学, 1998(12): 23-27.
- [32] 张钟, 刘晓明. 不同干燥方法对生姜粉物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 186-188.
- 变化及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2017(8): 123-129.
- [14] 杨志鹏, 王婷, 袁峰, 等. 海棠果酵素产品开发及其生物活性研究[J]. 中国调味品, 2018(1): 48-51.
- [15] 冯彦君, 张慙, 韩宇斌. 麦苗酵素发酵工艺的优化及其抗氧化功能[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 165-170.
- [16] 玄光善, 华晓雨, 李斌, 等. 复方纳豆酵素粉降血脂作用研究[J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2017, 38(s1): 56-58.
- [17] 战伟伟, 魏晓宇, 高本杰, 等. 蓝靛果椰子复合酵素发酵工艺优化[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 191-195.
- [18] 许雅娟, 赵艳景, 胡虹. 邻苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶活性的研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2006, 32(6): 1 207-1 209.
- [19] 方玉梅, 张春生, 谭萍, 等. 金针菇黄酮类化合物的抗氧化性作用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 15-18.
- [20] 侯学敏, 李林霞, 张直峰, 等. 响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 124-128.