

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.01.036

# 喷雾干燥与真空冷冻干燥对核桃粕红枣复合粉品质的影响

Effects of spray drying and vacuum freeze-drying on the quality of walnut meal and jujube compound powder

付露莹<sup>1</sup> 原双进<sup>2</sup> 陈浩<sup>1</sup> 张润光<sup>1</sup> 张有林<sup>1</sup>

FU Lu-ying<sup>1</sup> YUAN Shuang-jin<sup>2</sup> CHEN Hao<sup>1</sup> ZHANG Run-guang<sup>1</sup> ZHANG You-lin<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119; 2. 陕西省林业技术推广总站, 陕西 西安 710082)

(1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China; 2. Shaanxi Forestry Technology Extension Station, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

**摘要:**以核桃粕、红枣为原料,采用喷雾干燥、真空冷冻干燥 2 种方式制备核桃粕红枣复合粉,对其集粉率、水分含量、蛋白质含量、堆积密度、流动性、溶解性、色差值、微观结构、蛋白质体外模拟消化、热稳定性进行探究。结果表明:真空冷冻干燥集粉率明显高于喷雾干燥,但是耗时长,水分含量和堆积密度高于喷雾干燥,休止角低于喷雾干燥,说明真空冷冻干燥核桃粕红枣复合粉不易贮藏、溶解性较差,但是流动性好;喷雾干燥所得复合粉颜色比较鲜亮。2 种复合粉热稳定性相似,但从整体来看,喷雾干燥复合粉蛋白质营养价值更高。观察复合粉微观结构,喷雾干燥复合粉呈球状,有利于颗粒与水分接触;真空冷冻干燥复合粉形状不规则,颗粒之间出现黏结,不利于颗粒与水分接触。

**关键词:**核桃粕;红枣;喷雾干燥;真空冷冻干燥;微观结构;模拟消化;热稳定性

**Abstract:** The compound powder of walnut meal and jujube was prepared by spray drying and vacuum freezing drying with walnut meal and jujube as raw materials. Investigated the powder yield, moisture content, protein content, bulk density, fluidity, solubility, color difference value, microstructure, simulated digestion of protein *in vitro* and thermal stability. The results showed that the powder yield of vacuum freeze-drying was significantly higher than that of spray drying, but the time was longer, the moisture content and bulk density were higher than spray drying, and the rest angle was lower than spray drying. It shows that vacuum

freeze-drying of compound powder was not easy to store and had poor solubility, but had good fluidity. The compound powder obtained by spray drying is brighter in color. There was no significant difference in the thermal stability of the two powders, but on the whole, the value of protein nutrition was higher. The surface microstructure of the two kinds of composite powders was observed. The results showed that the spray drying composite powder was spherical, which was beneficial to the contact between particles and water. The vacuum freeze-drying composite powder is irregular in shape, and there is adhesive between particles, which is not conducive to the contact between particles and water.

**Keywords:** walnut meal; jujube; spray drying; vacuum freeze-drying; microstructure; *in vitro* digestion; thermal stability

核桃(*Juglans regia* L.)为胡桃科(*Juglandaceae*)核桃属(*Juglans* L.)木本植物,与腰果、榛子和扁桃并称为中国“四大干果”<sup>[1]</sup>,富含蛋白质(15%~25%)、脂肪(50%~70%)等营养物质,核桃榨油后剩余的核桃粕通常用作饲料、肥料,造成优质蛋白资源的极大浪费<sup>[2-4]</sup>。研究<sup>[5]</sup>报道,不同加工方式所得的核桃粕蛋白组成不同,冷榨核桃粕的蛋白含量高、未变性,而热榨核桃粕蛋白多已变性,功能性质也发生了不同程度的降低,因此,冷榨核桃粕成为国内外学者研究的热点。红枣(*Zizyphus jujube*)为鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属植物(*Zizyphus jujuba* Mill),含有 18 种氨基酸和 30 多种矿质元素,营养价值较高,深受广大消费者喜爱<sup>[6-7]</sup>。2016 年中国红枣产量为 824.1 万 t,除了供鲜食外,仍以生产干枣、枣脯、蜜枣等传统食品为主,产品附加值较低<sup>[8-9]</sup>。

干燥作为食品加工中比较重要的环节,在食品加工

基金项目:西安市科技项目(编号:NC1405C2)

作者简介:付露莹,女,陕西师范大学在读硕士研究生。

通信作者:张有林(1956—),男,陕西师范大学教授,博士。

E-mail: youlinzh@snnu.edu.cn

收稿日期:2018-09-02

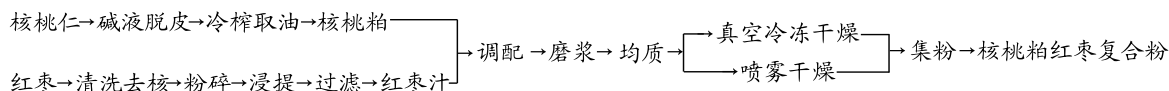
中有着不可或缺的地位。利用干燥处理固体粉末原料,可大大降低其水分含量,有效控制食品腐败变质,延长食品保质期,提高经济价值。现阶段常见的干燥方式有热风干燥、自然干燥、真空冷冻干燥、微波干燥、喷雾干燥,干燥方式不同对食品品质的影响不同。目前,关于核桃粕红枣复合粉的干燥方式研究鲜有报道,本试验将冷榨核桃粕和红枣作为原料,拟采用喷雾干燥与真空冷冻干燥2种方法制备核桃粕红枣复合粉,对复合粉的集粉率、溶解性、流动性、色差值、微观结构、蛋白质体外模拟消化、热稳定性等品质进行比较,分析2种干燥方式对核桃粕红枣复合粉品质的影响,以期获得核桃粕红枣复合粉理想干燥方式,为核桃粕、红枣的综合开发利用提供新方向。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

核桃:陕西香菱,购于陕西省西安市朱雀市场;  
核桃粕:试验室冷榨核桃仁取油自制;  
红枣:新疆小灰枣,购于陕西省西安市朱雀市场;  
胃蛋白酶(1:10 000)、胰蛋白酶(1:250);美国Sigma公司;

无水乙醇、磷酸、浓硫酸、氢氧化钠、硫酸钾、五水硫酸铜:分析纯,天津市天利化学试剂有限公司。



### 1.3.2 操作要点

(1) 核桃粕粉的制备:筛选优质核桃仁,用蒸馏水浸泡24 h,放入质量分数为1.5%的氢氧化钠水溶液中加热至90℃,热烫1 min后捞出,高压清水冲洗3次,直至核桃仁皮完全脱落,最终得到脱皮核桃仁。将脱皮核桃仁放入60℃的烘箱,干燥12 h。粉碎后冷榨取油,冷榨压力为45 MPa,冷榨温度低于40℃,冷榨3次,得到核桃粕,超微粉碎过200目筛,得到核桃粕粉。

(2) 红枣汁的制备:筛选无虫害的红枣,清洗、去核、粉碎,按料液比为1:10(g/mL)加入蒸馏水加热,在60℃条件下浸提3 h,浸提液过120目筛得到红枣汁。

(3) 调配磨浆:核桃粕和红枣汁按料液比1:20(g/mL)混合,混合均匀后经过胶体磨反复2次磨浆,得到可溶性固形物含量为7 Brix混合原浆液。

(4) 真空冷冻干燥条件:核桃粕红枣浆液在-40℃条件下预冻12 h,随后放在真空冷冻干燥机中(-60℃、10 Pa),干燥48 h。

(5) 喷雾干燥条件:进口温度180℃、进料流量0.300 L/h、进风量50 m<sup>3</sup>/h。

## 1.4 测定指标

### 1.4.1 集粉率测定

### 1.2 仪器与设备

胶体磨:JM-50型,温州永泰轻工机械厂;

数显鼓风干燥箱:GZX-9146MBE型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

数显恒温水浴锅:HH-4型,金坛市岸头仪都仪器厂;

高压均质机:Panda Plus型,意大利帕尔玛公司;

小型高速粉碎机:WK-600A型,青州市精诚医药设备制造有限公司;

气引式小型超微粉碎机:FDA型,台湾佑崎企业;

喷雾干燥机:B-290型,瑞士BUCHI公司;

真空冷冻干燥机:LJG-25C型,北京四环科学仪器厂;

环境扫描电子显微镜:Quanta 200型,美国FEI公司;

多功能破壁机搅拌机料理机:BL80Y21型,美的集团有限公司;

热分析系统:Q1000DSC+LNCS+FACS Q600SDT型,美国TA公司;

色差仪:NS800型,深圳市三思驰科技有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 工艺流程

$$\omega = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\omega$ ——集粉率,%;

$m_1$ ——收集到的粉的质量,g;

$m_2$ ——喷雾干燥原料固形物的质量,g。

1.4.2 水分含量测定 按GB 5009.3—2016的直接干燥法执行。

1.4.3 蛋白质含量测定 按GB 5009.5—2016的凯氏定氮法执行。

1.4.4 堆积密度测定 根据文献[10]。

1.4.5 流动性测定 根据文献[11]。

1.4.6 溶解性测定 根据文献[12]。

1.4.7 色差值测定 将经不同干燥方式处理的核桃粕红枣复合粉,置于色差仪,测量前将样品测量面整理平整。色差计中的数值用 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 表示,其中 $L^*$ 表示亮度, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; $a^*$ 表示红绿色度, $a^*>0$ 表示红色程度, $a^*$ 越大红色程度越深, $a^*<0$ 表示绿色程度, $a^*$ 越小绿色程度越大; $b^*$ 表示黄蓝色度, $b^*>0$ 表示黄色程度, $b^*$ 越大黄色程度越深, $b^*<0$ 表示蓝色程度, $b^*$ 越小蓝色程度越大<sup>[13]</sup>。

1.4.8 微观结构观察 在扫描电镜样品台贴上双面胶,

在双面胶上放置少量样品,吹去多余样品,将双面胶上的样品喷金处理,观察样品微观结构。

1.4.9 蛋白质体外模拟消化 根据文献[14]。

1.4.10 热稳定性测定 取 10 mg 样品置于标准铝盘内,升温速率为 10 °C/min,温度范围为 20~600 °C。所有样品测定 3 次,采用 TA Universal Analysis 软件进行结果分析。

1.5 数据处理

所有试验均重复 3 次,文中所有图表均使用 Origin 8.5 和 Microsoft Excel 2010 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对核桃粕红枣复合粉物理特性的影响

由表 1 可知,喷雾干燥集粉率低于真空冷冻干燥,这是因为喷雾干燥过程中会出现粘壁,部分物料被浪费;真空冷冻干燥过程物料处于静止状态,几乎没有损失。喷雾干燥复合粉蛋白质含量与真空冷冻干燥没有差异,且营养物质的损失基本相同。喷雾干燥的水分含量低于真空冷冻干燥,原因是喷雾干燥过程中浆液经过雾化形成极小的液滴,与周围热空气有较大表面积接触,有利于水分向外扩散,物料可以快速被干燥;真空冷冻干燥过程中物料堆积密集,接触面积小,不利于水分向外扩散,水分含量高,不利于产品贮藏<sup>[15-16]</sup>。喷雾干燥复合粉溶解性高于真空冷冻干燥,喷雾干燥复合粉颗粒形状比较均匀,大小一致,有利于与水结合溶解;真空冷冻干燥复合粉颗粒形状不规则,不利于与水结合溶解。

喷雾干燥粉末堆积密度明显低于真空冷冻干燥,主要是因为喷雾干燥过程中,料液被分散成细小的雾滴,使浆液在干燥热介质中迅速蒸发进而形成细小颗粒,堆积密度小;真空冷冻干燥粉末呈疏松海绵状,堆积时会产生一定空隙,故堆积密度大<sup>[17]</sup>。

休止角反映了复合粉的流动性,休止角越大,内摩擦力愈大,流动性越差<sup>[18]</sup>。由表 1 可知,喷雾干燥复合粉体

止角大于真空冷冻干燥,流动性较真空冷冻干燥差,主要是因为喷雾干燥是一次性制粒而成,粒径较小,比表面积大,分子引力、静电作用大,粉粒之间容易吸附,颗粒发生聚团,从而导致流动性差<sup>[15,19]</sup>。

2.2 干燥方式对核桃粕红枣复合粉色差的影响

由表 2 可知,真空冷冻干燥  $L^*$  值较大, $C^*$  值较小,说明真空冷冻干燥复合粉颜色浅;喷雾干燥  $L^*$  值较小,且  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C^*$  值较大,说明喷雾干燥复合粉颜色偏橙红色,色度较大,颜色比较鲜亮。喷雾干燥的干燥温度较高,复合粉发生了一定程度的褐变反应,使得复合粉颜色较深,而真空冷冻干燥温度、氧气含量较低,褐变反应发生程度较小,对复合粉的色泽破坏较轻。

2.3 干燥方式对核桃粕红枣复合粉组织结构的影响

从图 1 中可以看出,真空冷冻干燥的复合粉颗粒大小不均匀,形状不规则,分布不规律,发生中空塌陷、颗粒之间出现黏结现象;喷雾干燥的复合粉表面光滑,大部分颗粒圆滑细小,大小适中,分布比较均匀,整体呈球状,颗粒内部有空隙,有利于颗粒与水分接触,因此喷雾干燥的复合粉的溶解性较好<sup>[20]</sup>。这是因为喷雾干燥喷出的液滴小,使得液滴内外水分同时蒸发,颗粒表面光滑、均匀且形状基本相同;真空冷冻干燥过程中物料静止在平面,料液随意组合,形成的颗粒形状大小不一、分布不均匀<sup>[16,20-21]</sup>。

2.4 干燥方式对核桃粕红枣复合粉中蛋白质体外消化的影响

由图 2 可知,不同干燥方式对核桃粕红枣复合粉中蛋白质的体外消化的消化率有一定的区别。真空冷冻干燥的体外消化率低于喷雾干燥,说明喷雾干燥得到蛋白质比真空冷冻干燥更容易被人体吸收。喷雾干燥蛋白质的胃消化率、肠消化率明显高于真空冷冻干燥,但是 2 种干燥方式对蛋白质的胃消化率均在 40% 以下,说明人体摄入的食物蛋白只有少部分在胃内消化,大部分将在小

表 1 干燥方式对核桃粕红枣复合粉物理特性的影响

Table1 Effects of drying methods on physical properties of walnut meal and jujube compound powder

干燥方式	干燥时间/h	集粉率/%	水分含量/%	蛋白质含量/%	堆积密度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	休止角/(°)	溶解性/%
喷雾干燥	3	53±2.10	1.5±0.03	29±0.45	0.23±0.003	46±0.44	31.1±0.53
真空冷冻干燥	60	95±2.06	3.1±0.07	28±0.23	0.35±0.002	40±0.58	28.2±0.36

表 2 干燥方式对核桃粕红枣复合粉颜色的影响

Table 2 Effect of drying methods on the color of walnut meal and jujube compound powder

干燥方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^*$
喷雾干燥	62.76±0.14	6.54±0.08	16.00±0.06	17.28±0.17	67.76±0.16
真空冷冻干燥	69.70±0.75	5.35±0.05	14.28±0.09	15.09±0.34	69.64±0.41

肠中消化吸收。2种干燥方式蛋白质的肠消化率均在45%以上,说明人体摄入的蛋白质主要在小肠内消化吸收。2种干燥方式的体外肠消化率均大于体外胃消化率,其一是因为在胃中的停留时间短(1.0~1.5 h),且胃内pH急速升高,远高于胃蛋白酶最适pH,所以在胃中只能完成一小部分消化吸收<sup>[22-23]</sup>;其二是因为人体肠道中含有活性高且数量较多胰蛋白酶,可以对大部分蛋白质消化吸收。2种干燥方式蛋白质的体外胃肠总消化率无明显差异,均在60%以上,表明核桃粕红枣复合粉中大部分蛋白质能够被人体吸收利用,但从整体来看,喷雾干燥蛋白质营养价值更高,大部分人体可以消化吸收。

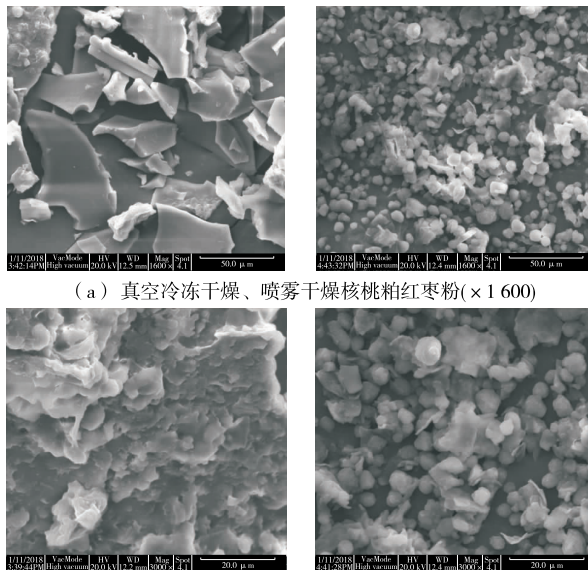


图1 干燥方式对核桃粕红枣复合粉组织结构的影响

Figure 1 Effects of drying methods on the structure of jujube and jujube compound powder

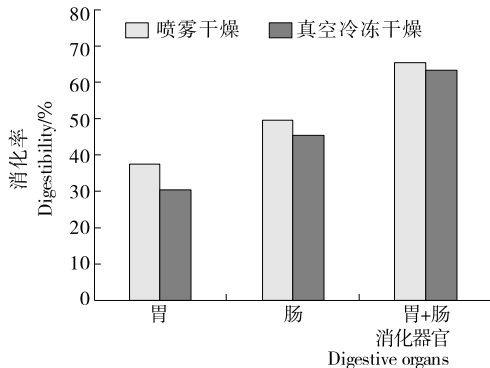


图2 干燥方式对核桃粕红枣复合粉中蛋白质的体外消化的影响

Figure 2 Effects of different drying methods on *in vitro* digestion of protein from walnut meal and jujube powder

### 2.5 干燥方式对核桃粕红枣复合粉热稳定性的影响

从图3可知,热重分析后,真空冷冻干燥和喷雾干燥的复合粉坩埚中残余物质质量百分比分别为22.39%、21.78%,即真空冷冻干燥复合粉热稳定性高于喷雾干燥,而其微熵热重曲线变化趋势一致,说明其热稳定性无明显差异。室温~120℃,为复合粉失去水分和部分香气成分的过程,失重率为10%,TGA曲线出现1个小峰,为自由水的析出,质量损失率随着温度升高而逐渐增大<sup>[24]</sup>。120~260℃,出现了1个陡峭的大峰,很有可能是复合粉中挥发性化合物挥发和较大分子物质分解的过程<sup>[25]</sup>。260~350℃,可能是复合粉中大分子难挥发性化合物的分解过程,也称为预碳化阶段,主要是纤维素、半纤维素的分解<sup>[26]</sup>。350~600℃,失重缓慢,复合粉中木质素热解后,主要是碳化最终阶段<sup>[25]</sup>。

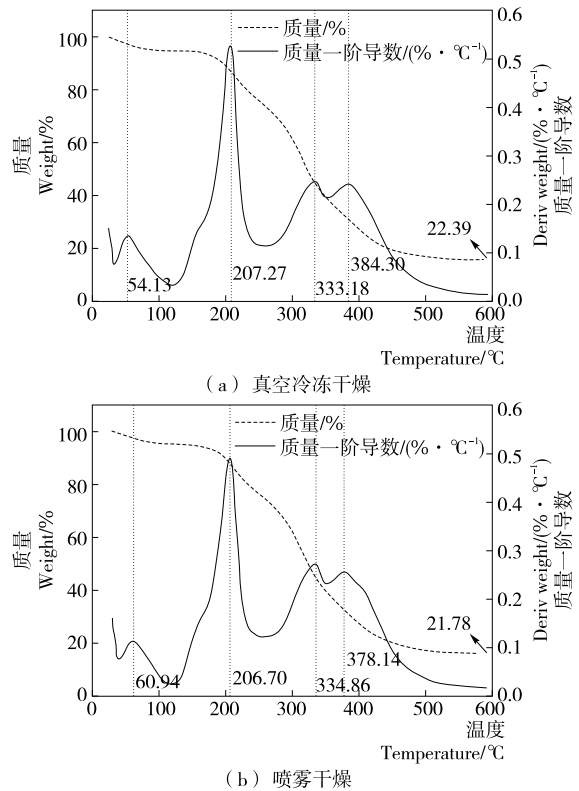


图3 干燥方式对核桃粕红枣复合粉的热稳定性影响  
Figure 3 Effect of drying method on the thermal stability of jujube and jujube compound powder

### 3 结论

比较真空冷冻干燥与喷雾干燥对核桃粕红枣复合粉品质的影响,结果表明:喷雾干燥复合粉在耗时、水分含量、堆积密度、色差、溶解性、蛋白质体外模拟消化方面均优于真空冷冻干燥,但2种干燥方式对于蛋白质含量和稳定性无明显影响。观察复合粉微观结构,真空冷冻干燥复合粉颗粒度不均匀,受到不同程度的破坏,发生中空



塌陷、颗粒之间出现黏结现象;喷雾干燥复合粉颗粒大小适中,分布较均匀,整体呈球状,颗粒内部有空隙,有利于颗粒与水分接触,说明喷雾干燥复合粉溶解性较好。真空冷冻干燥耗时长,耗能大,水分含量高,而喷雾干燥耗时短,耗能小、水分含量低,因此喷雾干燥适用于工业生产,但大规模工业生产还有待研究。

### 参考文献

- [1] 黄黎慧, 黄群, 孙术国, 等. 核桃的营养保健功能与开发利用[J]. 粮食科技与经济, 2009, 34(4): 48-50.
- [2] 吴开志, 肖千文, 唐礼贵, 等. 核桃种仁粗脂肪和氨基酸含量的差异性分析[J]. 经济林研究, 2007, 25(2): 15-18.
- [3] 凌育赵, 刘经亮. 核桃果实各部位脂肪酸的组成与含量分析[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(10): 139-142.
- [4] 杨虎清, 席珂芳. 核桃的营养价值及其加工技术[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(2): 47-49.
- [5] 杜蕾蕾, 郭涛, 万辉, 等. 冷榨核桃饼中核桃蛋白的提取与纯化的研究[J]. 粮油加工, 2008(10): 79-81.
- [6] 杨永祥, 陈锦屏, 吴曼. 红枣营养保健价值及其加工利用的研究进展[J]. 农产品加工, 2009(1): 52-53, 56.
- [7] 王富刚. 红枣营养功能性与复合蛋白饮料加工工艺影响因素研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012: 15.
- [8] 李媛萍, 徐怀德, 李翠平, 等. 全枣肉红枣粉加工技术研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 194-199.
- [9] 张宝善, 陈锦屏, 李强, 等. 红枣汁的提取方法[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(12): 67-71.
- [10] 钟芳, 王璋, 许时婴. 喷雾干燥条件对豆粉速溶性的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 24(12): 17-20.
- [11] 刘建学. 全藕粉喷雾干燥工艺试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 229-231.
- [12] 乔小全, 任广跃, 乔梦, 等. 干燥方式对黑枣粉品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 189-194, 220.
- [13] 陆建良, 梁月荣, 龚淑英, 等. 茶汤色差与茶叶感官品质相关性研究[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 57-61.
- [14] 顾浩峰, 张富新, 张怡. 羊奶婴儿配方奶粉中蛋白质体外模拟消化研究[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 302-305.
- [15] 唐辉, 钟瑞敏, 马金魁, 等. 冷冻干燥与喷雾干燥对岗稔果粉品质影响的比较[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 184-188.
- [16] 张彩虹, 黄立新, 刘伟, 等. 不同干燥方式制备白果粉的性比较[J]. 生物质化学工程, 2009, 43(6): 27-30.
- [17] 郑唯, 朱丹, 牛广财, 等. 不同干燥方式对毛酸浆粉性质的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 27-30.
- [18] 王江涛, 于源, 刘家祥. 利用石英粉体休止角表征其团聚状态的研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2012, 39(5): 49-52.
- [19] 张明, 周萍, 李新胜, 等. 不同干燥方式对金针菇根粉物理性质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 100-103, 108.
- [20] 宋玲霞, 陈义伦, 马超, 等. 干燥方式对枣粉物理特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12): 89-93.
- [21] 沈青, 赵英, 迟玉杰, 等. 真空冷冻与喷雾干燥对鸡蛋全蛋粉理化性质及超微结构的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 147-152.
- [22] BERMEJO P, PEA E M, DOMNGUEZ R, et al. Iron and zinc in hydrolysed fractions of human milk and infant formulas using an *in vitro* method[J]. Food Chemistry, 2002, 77(3): 361-369.
- [23] DEW C, RASMUSSEN J T, HEEGAARD C W, et al. *In vitro* digestion of novel milk protein ingredients for use in infant formulas: research on biological functions[J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(7): 373-383.
- [24] 林志鑫, 许原, 马春华, 等. 武夷岩茶热重(TGA)分析研究[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2016, 25(3): 211-214.
- [25] 王洪波, 郭军伟, 夏巧玲, 等. 部分国产烟草样品的热重分析[J]. 烟草科技, 2009(9): 47-49.
- [26] 刘洪, 敖波, 范淑辉, 等. 彝族植物药的热分析鉴别[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9400-9401.
- [5] 胥伟, 向涛, 王海滨. 不同干燥方式对蛋黄粉理化性质的影响[J]. 中国家禽, 2014, 36(4): 24-27.
- [6] MICHAEL Wenzel, INGRID Seuss-Baum, ELMAR Schlich. Influence of pasteurization, spray-and freeze-drying, and storage on the carotenoid content in egg yolk [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 1726-1731.
- [7] 赵媛, 苏宇杰, 杨严峻. 全蛋粉喷雾干燥工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(15): 243-246.
- [8] 岳莲. 蛋清粉和奶粉脉动燃烧喷雾干燥实验研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2014: 47.
- [9] 刘殿宇. 多喷头压力喷雾干燥塔喷嘴的设计及注意事项[J]. 医药工程设计, 2013, 34(4): 1-3.
- [10] 刘殿宇. 喷雾干燥系统的保温及注意事项[J]. 化工装备技术, 2013, 34(6): 23-24.
- [11] 娄源功, 钱向明, 陈复生, 等. 专用鸡全蛋粉工业化生产新工艺研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1997, 18(1): 14-19.
- [12] 刘静波, 马爽, 刘博群, 等. 喷雾干燥条件对高铁蛋粉溶解特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 365-371.
- [13] 刘云宏, 郭松旺, 张争艳. 鸡蛋蛋白粉的离心喷雾干燥研究[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(2): 7-9.
- [14] 唐伟强, 郭松旺. 工艺参数对蛋白粉离心喷雾干燥质量问题的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(2): 53-55.
- [15] 孙临政, 迟玉杰, 王欢, 等. 喷雾干燥条件对蛋清粉冲调效果的影响[J]. 中国家禽, 2014, 36(2): 29-34.
- [16] 李树立, 鞠国泉, 李会旋, 等. 食品中磷脂测定方法的探讨[J]. 食品工业科技, 2004, 25(9): 133-134.
- [17] 谭佩毅, 黄秀锦. 卵黄抗体鸡蛋粉喷雾干燥工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(20): 269-275.

(上接第 196 页)