

不同干燥和粉碎方式 对玉木耳粉粉体特性和营养成分的影响

梁晓君¹, 廖才学², 黄振勇¹, 王冬梅³, 韦馨平¹, 淡明¹, 张娥珍^{1,*}

(1. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007;

2. 广西壮族自治区计量检测研究院, 广西南宁 530007;

3. 南宁市农业科学研究所, 广西南宁 530009)

摘要:为探究适宜的玉木耳粉制备工艺, 采用热风干燥、真空冷冻干燥和微波真空干燥三种干燥模式对玉木耳子实体进行干制处理, 干制后分别进行普通粉碎和超微粉碎, 对不同处理下玉木耳粉体特性和营养成分差异性进行评价。结果表明: 热风干燥模式粉体流动性和填充性显著优于其他处理 ($P < 0.05$), 真空冷冻干燥持水、持油能力较好, 超微粉碎可改善粉体特性, 但流动性和填充性会有所下降, 超微粉碎后粉体润湿下沉所需时间显著多于普通粉 ($P < 0.05$)。真空冷冻干燥玉木耳粉营养物质含量保存效果最好, 其次为微波真空干燥, 热风干燥对营养物质损耗较大, 超微粉碎在一定程度上能提高玉木耳粉营养物质的溶出率。综合比较得出, 玉木耳真空冷冻干燥超微粉较适合作功能食品深加工原料。

关键词: 玉木耳, 加工工艺, 粉体特性, 营养成分

Effects of Different Drying and Grinding Methods on the Powder Characteristics and Nutritional Components of *Auricularia nigricans* Powder

LIANG Xiao-jun¹, LIAO Cai-xue², HUANG Zhen-yong¹,
WANG Dong-mei³, WEI Xin-ping¹, DAN Ming¹, ZHANG E-zhen^{1,*}

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology,
Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;
2. Guangxi Institute of Measurement and Testing, Nanning 530007, China;
3. Nanning Institute of Agricultural Sciences, Nanning 530009, China)

Abstract: In order to explore the suitable preparation technology of *Auricularia nigricans* powder, hot air drying, vacuum freeze drying and microwave vacuum drying were compared, and ordinary grinding and ultra-fine grinding were compared respectively after drying in this experiment. At the same time, differences of the characteristics and nutrient contents of the whole *Auricularia nigricans* powder prepared by different treatments were evaluated. The result showed that, the powder fluidity and filling ability were significantly better than other treatments ($P < 0.05$), which were dried by hot air drying mode, however, the best way to hold water and oil was vacuum freeze-drying. Superfine grinding could improve the powder properties, but the fluidity and filling ability would decrease, the wetting and sinking time of ultrafine powder was significantly longer than that of ordinary powder ($P < 0.05$). In terms of nutrient content, the best dried mode was vacuum freeze drying, microwave vacuum drying ranked second, the hot air drying mode had a great loss of nutrients. Superfine grinding could improve the dissolution rate of *Auricularia nigricans* powder nutritional components to some extent. It is concluded that the ultra-fine powder of vacuum freeze-drying of *Auricularia nigricans* is suitable for the further processing of functional food.

Key words: *Auricularia nigricans*; processing technology; powder properties; nutritional components

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)01-0096-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020030158

引文格式: 梁晓君, 廖才学, 黄振勇, 等. 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉体特性和营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 96-100, 109.

收稿日期: 2020-03-13

作者简介: 梁晓君(1993-), 女, 本科, 研究方向: 农产品加工, E-mail: xiaojunliang1993@163.com。

* 通信作者: 张娥珍(1978-), 女, 本科, 研究员, 研究方向: 农产品加工及综合利用, E-mail: zhang281@126.com。

基金项目: 广西农业科学院基本科研业务专项(团队项目)(2015YT88)。

LIANG Xiao-jun, LIAO Cai-xue, HUANG Zhen-yong, et al. Effects of Different Drying and Grinding Methods on the Powder Characteristics and Nutritional Components of *Auricularia nigricans* Powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 96-100, 109. (in Chinese with English abstract) <http://www.spjgkj.com>

玉木耳(*Auricularia nigricans*)属真菌界木耳属木木耳种,由吉林农业大学李玉院士团队将毛木耳进行基因改良获得,是近年来兴起的一种新型食用菌品种,堪称木耳界的“白富美”^[1]。玉木耳主要分布于吉林、黑龙江、辽宁等北方省份,近几年南方地区也开始种植,目前栽培技术成熟,出菇稳定,产量高。木耳属真菌具有食药两用功能,常食用可抗衰老、抗肿瘤^[2]、提高免疫力^[3],还可降低血糖、血脂^[4],能有效预防血栓的形成^[5]。玉木耳营养物质含量丰富,目前对玉木耳的研究多集中于栽培方面^[6-7],加工利用方面研究尚少^[8-9],玉木耳营养物质优于当前主栽毛木耳品种^[10],有望以玉木耳为原料开发新型功能性保健食品。

玉木耳干燥和粉碎后粉体特性和营养成分差异性尚未见报道,但其他种类食用菌干燥和粉碎方面的研究已颇多^[11-13]。新鲜采摘的食用菌通常水分含量较大,极易发生酶促褐变^[14],严重影响保质期,通常会对其进行干制或其他处理。食用菌常见干燥方式主要有热风干燥(Hot air drying, HAD)^[15]、真空冷冻干燥^[16](Vacuum freeze drying, VFD)和微波真空干燥^[17](Microwave vacuum drying, MVD)等方式。不同的干燥方式对食用菌产品色泽、流动性、复水性以及营养物质含量等方面均有重要影响^[18-20]。干制后通常进行普通粉碎或超微粉碎处理,不同粉碎处理对食用菌粉体特性有较大影响,尤其在食用菌有效活性物质含量和溶出方面存在较大差异^[21-25]。粉碎技术在食药两用植物深加工和产品的研发上有着极其重要的作用,是提升食药两用植物产品品质的重要途径^[26-29]。

本实验采用热风干燥、真空冷冻干燥和微波真空干燥三种干燥方式处理玉木耳子实体,对干燥后的玉木耳分别进行普通粉碎和超微粉碎,对比不同干燥和粉碎条件下玉木耳粉休止角、滑动角、松密度、持水能力、持油能力、润湿下沉性等粉体特性和总糖、粗多糖、粗蛋白、粗纤维和粗脂肪等营养物质差异性,以期为玉木耳深加工和产品研发提供数据参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

玉木耳 南宁市农业科学研究所基地提供;葡萄糖、硼酸 天津市科密欧化学试剂有限公司;浓硫酸、浓盐酸、氢氧化钠、无水乙醇 成都市科隆化学有限公司;苯酚 成都金山化学试剂有限公司;石油醚 天津市富宇精细化工有限公司;以上试剂均为分析纯。

WGLL-230BE 电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司;LGJ-100F 型真空冷冻干燥机 北京松源华兴科技发展有限公司;KL-2D-15ZK 微波真空干燥设备 广州市凯棱工业用微波设备有限公

司;FW80 高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;WF-250 低温超微粉碎机 江阴市中凯制药机械制造有限公司;3-18KS 高速冷冻离心机 希格玛实验室离心机公司;UV-6100 紫外可见分光光度计 上海元析仪器有限公司;ZDDN-II 全自动定氮仪 浙江托普云农科技股份有限公司;F800 纤维测定仪 济南海能仪器股份有限公司;SZF-06C 全自动脂肪测定仪 浙江托普云农科技股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 玉木耳子实体干燥和粉碎处理 玉木耳子实体选取新鲜饱满、色泽亮丽无病斑个体,采集后及时送至实验室,去除根部携带基质、流动水清洗表面杂质,捞出沥干,分别进行不同处理。

1.2.1.1 HAD 普粉(热风干燥普通粉) 沥干水的玉木耳子实体置于电热鼓风干燥箱中,65℃烘干至恒重后用高速万能粉碎机进行普通粉碎^[30]。

1.2.1.2 HAD 微粉(热风干燥超微粉) 沥干水的玉木耳子实体置于电热鼓风干燥箱中,65℃烘干至恒重后用高速万能粉碎机进行普通粉碎,再用低温超微粉碎机进行超微粉碎。

1.2.1.3 VFD 普粉(真空冷冻干燥普通粉) 参考陈合等^[31]方法,在冷阱温度-65℃,预冷玉木耳至样品温度-40℃,开启真空泵,设定每隔60min升温5℃,加热温度35℃,开启自动冻干模式,在样品温度达35℃并维持120min,真空度<10Pa时,样品水分含量在13%以下达到干燥要求,干燥后用高速万能粉碎机进行普通粉碎。

1.2.1.4 VFD 微粉(真空冷冻干燥超微粉) 真空冷冻干燥方法同1.2.1.3,干燥后用高速万能粉碎机进行粉碎,再用低温超微粉碎机进行超微粉碎。

1.2.1.5 MVD 普粉(微波真空干燥普通粉) 在真空度为0.08MPa,温度40℃,微波功率1000W下干燥25min^[17],干燥后用高速万能粉碎机进行普通粉碎。

1.2.1.6 MVD 微粉(微波真空干燥超微粉) 微波真空干燥方法同1.2.1.5,干燥后用高速万能粉碎机进行普通粉碎,用低温超微粉碎机进行超微粉碎。

1.2.2 玉木耳粉体特性测定

1.2.2.1 休止角和滑动角测定 参考刘素稳等^[21]方法测定。将漏斗固定使其底部与平板间垂直距离H为1cm,将玉木耳粉倒入漏斗,在自然状态下使其在平板上形成圆锥体,用铅笔勾勒出圆锥底面圆形状,多点测定底面圆直径2R取平均值,休止角大小计算公式如下:

$$\alpha = \arctan H/R$$

在桌面上放置一玻璃平板,在玻璃板上选取一固定位置,准确称取5.00g玉木耳粉倒于该固定位置,轻抬玻璃板至大部分粉末滑动,用量角器记录此时玻璃平板与桌面形成的角度,即为滑动角。

1.2.2.2 松密度的测定 参考崔蕊静等^[32]的方法进

行。准确称取 5.00 g 玉木耳粉缓慢倒入 10 mL 量筒中,并不断振敲于桌面至其在量筒中体积不再发生变化,记录此时体积 v ,则玉木耳粉粉体松密度为:

$$\text{松密度 (g/mL)} = m/v$$

1.2.2.3 持水能力和持油能力测定 持水能力和持油能力参考江润生等^[33]的方法。取已称量恒重的离心管(m_1),准确称取玉木耳粉 1 g(m_2)倒入管内,加 10 mL 去离子水,沸水浴加热搅拌混合 30 min,取出冷却至室温后 5000 r/min 离心 15 min,弃去上清液,倒扣试管于滤纸上,直至无水分流下,称量沉淀与试管的总质量 m_3 ,持水能力计算公式如下:

$$\text{持水能力 (g/g)} = (m_3 - m_2 - m_1)/m_2$$

取已称量恒重的离心管(W_1),准确称取玉木耳粉 1 g(W_2)倒入管内,加 20 mL 大豆油,沸水浴加热搅拌混合 30 min,取出冷却至室温后 5000 r/min 离心 20 min,弃去上清液,倒扣试管于滤纸上,直至无油迹流下,称量沉淀与试管的总质量 W_3 ,持油能力计算公式如下:

$$\text{持油能力 (g/g)} = (W_3 - W_2 - W_1)/W_2$$

1.2.2.4 润湿下沉性 参考黄梅华等^[34]的方法进行测定。取一培养皿加入 50 mL 去离子水,准确称取 0.100 g 玉木耳粉倒入其中,记录从倒入玉木耳粉末开始至玉木耳粉末被水完全润湿所用时间,重复测定 3 次取平均值。

1.2.3 玉木耳粉营养成分测定 玉木耳粉总糖和粗多糖含量分别按 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》和 NY/T 1676-2008《食用菌中粗多糖含量的测定》规定方法进行测定;粗蛋白含量按 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》第一法凯氏定氮法进行测定;粗纤维含量按 GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》方法进行测定;粗脂肪含量按照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》方法进行测定。

1.3 数据处理与分析

实验数据采用 Origin 2017 软件进行 One-way ANOVA 统计和差异性显著分析并绘图, $P < 0.05$ 表示数据间有统计学差异。

2 结果与分析

2.1 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉休止角和滑动角的影响

休止角和滑动角是衡量粉体流动性的重要指标^[22],不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉休止角和滑动角影响如图 1 所示。在同种干燥模式下,玉木耳子实体超微粉碎后粉体的休止角均比普通粉碎有所提高,其中真空冷冻干燥、热风干燥和微波真空干燥超微粉碎后玉木耳粉休止角角度分别增加了 5.93、5.23 和 5.16°,提高效果显著($P < 0.05$)。采用不同干燥方式,玉木耳普通粉在休止角上无显著性差异($P > 0.05$),在三种玉木耳超微粉中,真空冷冻干燥超微粉与热风干燥超微粉具有显著性差异($P < 0.05$),但是两者分别与微波真空干燥超微粉相比均无显著性差异($P > 0.05$);6 组处理中,以玉木耳真空冷冻干燥超微粉休止角最大,以热风干燥普通粉休止角最小,

角度达到了分别为 51.82 和 43.70°,两者间差异性显著($P < 0.05$)。从滑动角上看,玉木耳热风干燥普通粉与超微粉间无显著性差异($P > 0.05$),真空冷冻干燥和微波真空干燥两种方式中玉木耳普通粉与超微粉相比均有显著性差异($P < 0.05$);6 组处理中,以真空冷冻干燥超微粉滑动角最大,以热风干燥普通粉滑动角最小。玉木耳子实体在粉碎过程中,粒径不断减小,粒径比表面积增大,粒子间的相互附着力增加^[24],使其具有更强的堆积性,因此玉木耳粉体越细流动性越差^[35]。实验结果表明,玉木耳真空冷冻干燥超微粉流动性较差,热风干燥普通粉流动性较好。

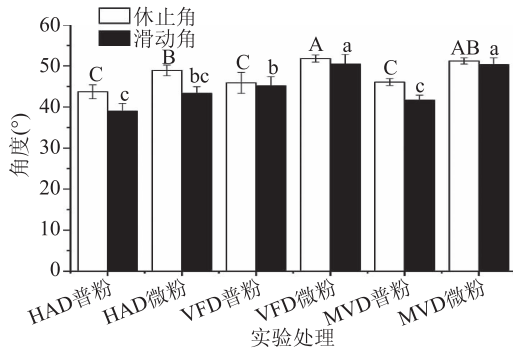


图 1 不同处理对玉木耳粉流动性的影响

Fig.1 Effects of different treatments on liquidity of *Auricularia nigricans* powder
注:不同大小写字母表示同一指标不同处理组间差异显著($P < 0.05$),图 2~图 7 同。

2.2 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉松密度的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉松密度的影响如图 2 所示。由实验结果知,干燥方式和粉碎程度不同,玉木耳粉松密度有一定差异。在热风干燥、真空冷冻干燥和微波真空干燥三种不同干燥方式中,热风干燥对玉木耳粉松密度的影响较大,其普通粉和超微粉松密度分别达到了 0.604 和 0.574 g/mL,与真空冷冻干燥和微波真空干燥相比均有显著性差异($P < 0.05$)。相同干燥方式中,玉木耳普通粉松密度均比超微粉大,但差异不显著($P > 0.05$)。粉体松密度越大,其压缩度就越小,说明具有较强的填充性^[36],实验结果表明,三种不同干燥模式中,玉木耳热风干燥所得粉体填充性较强;同种干燥模式中,玉木耳普通粉填充性优于超微粉。

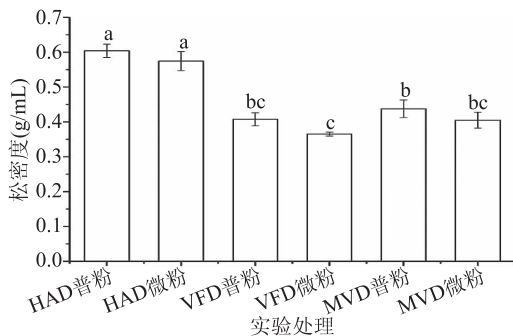


图 2 不同处理对玉木耳粉松密度的影响

Fig.2 Effects of different treatments on bulk density of *Auricularia nigricans* powder

2.3 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉持水能力的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳全粉的持水能力影响如图3所示,6组不同处理中,玉木耳真空冷冻干燥超微粉持水能力达20.86 g/g,显著高于其他处理($P < 0.05$);采用热风干燥或微波真空干燥,其普通粉在持水能力上与同干燥模式下超微粉均无显著性差异($P > 0.05$);总体上看,三种干燥模式中,真空冷冻干燥所得玉木耳粉体持水能力较高,其次为微波真空干燥,热风干燥持水能力较差。热风干燥在干燥过程中,高温使玉木耳子实体急剧收缩,细胞损伤较大,吸收水分恢复原状能力较差^[37]。实验结果表明,真空冷冻干燥有助于提高玉木耳全粉的持水能力,对玉木耳新鲜度的保持优于热风干燥和微波真空干燥,同时也说明,真空冷冻干燥处理的玉木耳复水泡发时间比其他干制处理较短。

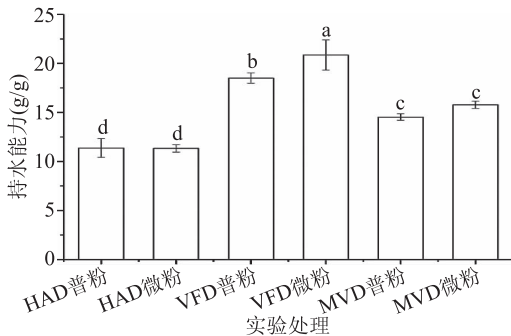


图3 不同处理对玉木耳粉持水能力的影响

Fig.3 Effects of different treatments on water-holding capacity of *Auricularia nigricans* powder

2.4 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉持油能力的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉持油能力的影响如图4所示。玉木耳经真空冷冻干燥后其普通粉和超微粉持油能力较好,两者间差异性不显著($P > 0.05$),其中真空冷冻干燥超微粉持油能力达3.67 g/g,显著高于热风干燥和微波真空干燥处理中普通粉和超微粉的持油能力($P < 0.05$);微波真空干燥模式中,玉木耳普通粉与超微粉在持油能力上无显著性差异($P > 0.05$);针对热风干燥模式干制后的玉木耳,超微粉碎能显著提高其粉体持油能力($P < 0.05$)。实验结果说明,玉木耳干制过程中干燥温度对其粉体持油能力有较大影响,低温干燥持油能力效果较好,采用高温处理玉木耳,需加大粉碎程度以提高粉体持油能力。

2.5 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉润湿下沉性的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉润湿下沉性影响如图5所示。在6组不同处理中,热风干燥得到的玉木耳粉润湿下沉时间较短,其中热风干燥普通粉润湿下沉所用时间显著少于其他处理($P < 0.05$),粉末全部润湿下沉时间为8.11 min;玉木耳真空冷冻干燥后其粉体润湿下沉时间较长,超微粉润湿下沉时间可达17.54 min,显著长于其他处理($P < 0.05$);同

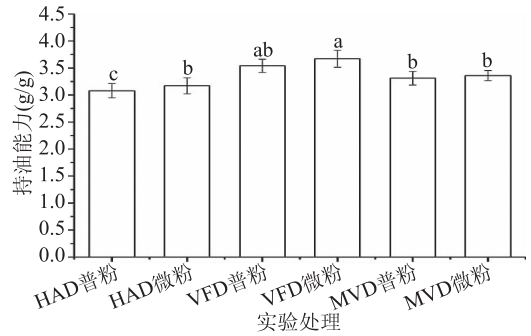


图4 不同处理对玉木耳粉持油能力的影响

Fig.4 Effects of different treatments on oil-holding capacity of *Auricularia nigricans* powder

种干燥模式下,超微粉润湿下沉所需时间明显比普通粉长($P < 0.05$),说明玉木耳粉体颗粒越细,其润湿下沉时间会相应延长。超微粉由于粉碎度高,其粉体粒径小,极易吸湿,但同时由于其微粒间的相互吸附作用比普通粉大,容易聚集成团,吸湿后表面形成一层胶质粘膜,阻隔内部颗粒与水的接触,使微粉团增加了浮力,因而漂浮于水面的时间更长^[34],导致润湿下沉时间延长。

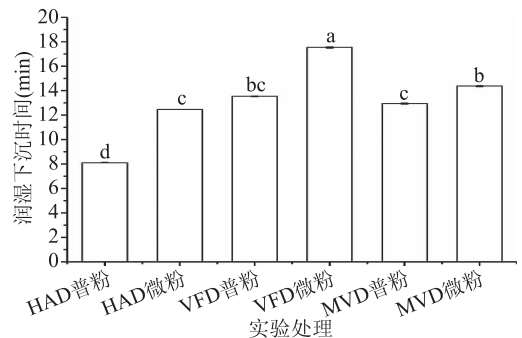


图5 不同处理对玉木耳粉润湿下沉性的影响

Fig.5 Effects of different treatments on wetting and sinking time of *Auricularia nigricans* powder

2.6 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉总糖和粗多糖含量的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳全粉总糖和粗多糖含量影响如图6所示。实验结果上看,三种不同干燥方式中,玉木耳普通粉总糖含量均略高于超微粉,热风干燥和微波真空干燥组内普通粉与超微粉之间差异不显著($P > 0.05$),真空冷冻干燥普通粉与超微粉之间总糖含量差异显著($P < 0.05$);采用真空冷冻干燥干制的玉木耳全粉总糖含量较高,普通粉中总糖含量达到了47.32%,但与其他处理普通粉比较,差异不显著($P > 0.05$)。同种干燥模式下,玉木耳普通粉与超微粉在粗多糖含量上无显著性差异($P > 0.05$);三种不同干燥方式中,热风干燥对玉木耳粗多糖的损耗较大,均低于真空冷冻干燥和微波真空干燥处理中普通粉和超微粉粗多糖含量,差异性显著($P < 0.05$);真空冷冻干燥与微波真空干燥普通粉和超微粉粗多糖含量均相差不大,差异性不显著($P > 0.05$)。总体来说,真空冷冻干燥对玉木耳全粉中糖类的损耗较小,其中普通粉中总糖含量较高,

超微粉中粗多糖含量较高。

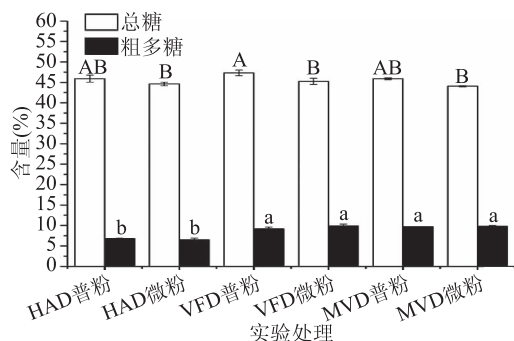


图6 不同处理对玉木耳粉总糖和粗多糖含量的影响

Fig.6 Effects of different treatments on total sugar and crude polysaccharide content of *Auricularia nigricans* powder

2.7 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉粗蛋白、粗纤维和粗脂肪含量的影响

不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉中粗蛋白、粗纤维和粗脂肪影响如图7所示。6组处理中,普通粉碎的玉木耳粉粗蛋白含量均比超微粉略高,6组处理粗蛋白含量在15.34%~15.81%,差异性不显著($P>0.05$);同种干燥模式下,玉木耳普通粉粗纤维含量比超微粉碎低,差异不显著($P>0.05$);采用热风干燥处理的玉木耳粗纤维含量较低,普通粉粗纤维含量为16.16%,其普通粉和超微粉粗纤维含量分别与微波真空干燥普通粉和超微粉相比均有显著性差异($P<0.05$),与真空冷冻干燥相比,超微粉间有显著差异($P<0.05$),但普通粉差异性不显著($P>0.05$);真空冷冻干燥与微波真空干燥玉木耳粉在粗纤维含量上无显著性差异($P>0.05$);超微粉碎一定程度上能使其细胞内容物溶出效果增强,玉木耳热风干燥和真空冷冻干燥后超微粉碎粗脂肪含量有显著提高($P<0.05$),但微波真空干燥中效果不显著($P>0.05$)。实验结果表明,玉木耳真空冷冻干燥和微波真空干燥粗纤维和粗蛋白含量相差不大,从普通粉需求上考虑,以微波真空干燥效果较好,但从超微粉需求上考虑,则真空冷冻干燥占优势。

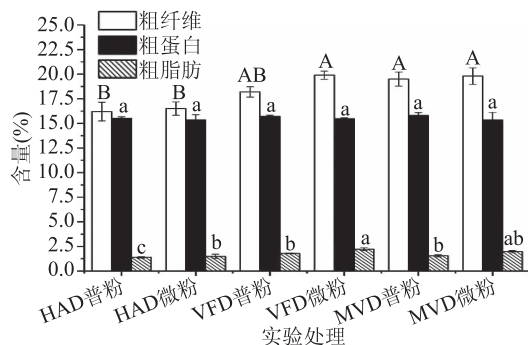


图7 不同处理对玉木耳粉粗蛋白、粗纤维和粗脂肪含量的影响

Fig.7 Effects of different processing on crude protein, crude fiber and crude fat content of *Auricularia nigricans* powder

3 结论

玉木耳经不同干燥和粉碎方式处理后粉体特性和营养成分方面均有所差异。热风干燥模式中粉体

流动性和填充性显著优于其他处理($P<0.05$),持水、持油能力以真空冷冻干燥效果较好。与常规普通粉相比,超微粉碎可改善粉体特性,提高粉体对水、油的保持能力,但流动性会有所下降,超微粉碎后粉体润湿下沉所需时间显著长于普通粉($P<0.05$)。玉木耳粉营养物质含量上以真空冷冻干燥效果最好,其次为微波真空干燥,热风干燥对营养物质的损耗较大,超微粉碎在一定程度上能提高玉木耳粉营养物质的溶出率。玉木耳营养丰富,具有食药两用功能,在加工过程中应根据产品定位选择合适的加工工艺,才能在低成本前提下生产高品质的玉木耳功能产品。

参考文献

- [1]李玉,李晓.图说玉木耳优质高产栽培[M].北京:中国农业出版社,2016:1-3.
- [2]曹玉春,包海鹰,李晓,等.玉木耳提取物对H₂₂荷瘤小鼠体内抗肿瘤作用研究[J].菌物学报,2017,36(9):1289-1298.
- [3]张介驰,陈鹤,孔祥辉,等.黑木耳复合多糖口服制剂对小鼠免疫功能的效应[J].食药菌,2018,26(6):358-362.
- [4]于美汇,赵鑫,尹红力,等.碱提醇沉黑木耳多糖体外和体内降血脂功能[J].食品科学,2017,38(1):232-237.
- [5]顾嘉林,康宁,李德海,等.酸性黑木耳多糖协同抗凝血作用分析[J].现代食品科技,2017,33(6):45-52.
- [6]马海霞,屈直,马子龙,等.适宜海南栽培的毛木耳品种筛选试验[J].热带农业科学,2018,38(11):7-10.
- [7]任梓铭,方宏阳,孟秀秀,等.白色毛木耳新品种“玉木耳”的选育[J].分子植物育种,2018,16(3):954-959.
- [8]刘楠楠,孟祥敏,都凤华.玉木耳红豆复合乳饮料的研制[J].食品工业,2018,39(10):150-153.
- [9]刘岩.玉木耳运动饮料研制及抗运动疲劳功能研究[J].食品研究与开发,2017,38(21):106-110.
- [10]姚清华,陈国平,颜孙安,等.两种木耳营养分析与评价[J].营养学报,2018,40(2):197-199.
- [11]李湘利,刘静,魏海香,等.食用菌干燥技术的研究进展[J].食品研究与开发,2019,40(6):207-213.
- [12]邢亚阁,蒋丽,曹东,等.不同干燥方式对杏鲍菇营养成分的影响[J].食品工业,2015,36(4):1-3.
- [13]李亚欢,田平平,王杰,等.干燥方式对银耳加工与贮藏过程中品质的影响[J].中国农业科学,2016,49(6):1163-1172.
- [14]Mohapatra D, Bira Z M, Kerry J P, et al. Postharvest hardness and color evolution of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): E146-E152.
- [15]Kotwaliwale N, Bakane P, Verma A. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(4): 1207-1211.
- [16]卜庆状.真空冷冻干燥和热风干燥对猴头菇营养品质的影响[J].食品科技,2018,43(5):97-101.
- [17]杜冉,郑新雷,王世雄,等.真空微波干燥技术对食用茵粉品质的影响[J].食品科技,2018,43(7):76-82.
- [18]Guo X H, Xia C Y, Tan Y R, et al. Mathematical modeling and effect of various hot-air drying on mushroom (*Lentinus*

(下转第109页)

- 食品腐败机制[J].中国食品学报,2017,17(3):225-234.
- [27] 蓝蔚青,谢晶,施建兵,等.冷藏鲳鱼贮藏期间的细菌种群变化[J].食品与生物技术学报,2013,32(11):1141-1148.
- [28] Lalitha K V, Surendran P K. Microbiological changes in farm reared freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) in ice[J]. Food Control, 2006, 17(10): 802-807.
- [29] Dabadé D S, den Besten H M W, Azokpota P, et al. Spoilage evaluation, shelf-life prediction, and potential spoilage organisms of tropical brackish water shrimp (*Penaeus notialis*) at different storage temperatures[J]. Food Microbiology, 2015, 48: 8-16.
- [30] Surendran P K, Joseph J, Shenoy A V, et al. Studies of spoilage of commercially important tropical fishes under iced storage[J]. Fisheries Research, 1989, 7(1/2): 1-9.
- [31] 郑振霄,周聃,冯俊丽,等.冷海水保藏下鲈鱼(*Pneumatophorus japonicus*)菌相变化规律及优势腐败菌的分离鉴定[J].现代食品科技,2016,32(4):81-86.
- [32] Al-Dagal M M, Bazaraa W A. Extension of shelf life of whole and peeled shrimp with organic acid salts and bifidobacteria [J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(1): 51-56.
- [33] 张璟晶,唐劲松,管远红,等.冰鲜银鲳鱼优势腐败菌的分离鉴定及其致腐能力分析[J].食品与机械,2014,30(6):75-78,101.
- [34] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.鲜海水鱼通则:GB/T 18108-2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- (上接第100页)
- edodes* [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(1): 207-216.
- [19] 郑悄然,周凤,邢洁,等.干燥方式对牛肝菌干燥特性、品质及抗氧化能力的影响[J].食品与机械,2018,34(11):45-49.
- [20] 卢可可,郭晓晖,李富华,等.不同热风干燥方式对香菇多酚组成及其抗氧化活性的影响[J].现代食品科技,2015,31(9):185-190,283.
- [21] 刘素稳,常学东,李航航,等.不同粉碎方法对杏鲍菇超微粉体物化性质的影响[J].现代食品科技,2013,29(11):2722-2727.
- [22] 吴翔,董军,伍玉茜,等.真空冷冻干燥香菇普通粉和超微粉物理特性研究[J].安徽农业科学,2018,46(34):152-154,157.
- [23] 杨春瑜,姜启兴,夏文水,等.黑木耳超微粉多糖相对分子质量分布及降血脂功能研究[J].中国食品学报,2008,8(6):23-32.
- [24] 王朝川,李新胜,马超,等.金针菇超微粉体物理特性及其制备工艺优化研究[J].食品工业,2016,37(6):19-22.
- [25] Shi H, Zhang M, Bhandari B, et al. Effects of superfine grinding on the properties and qualities of *Cordyceps militaris* and its spent substrate [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(11): e14169.
- [26] 杨艳君,邹俊波,张小飞,等.超微粉碎技术在中药领域的研究进展[J].中草药,2019,50(23):5887-5891.
- [27] Bertoncello K T, Aguiar G P S, Oliveira J V, et al. 2019.
- [35] 李婷婷,陈思,李欢,等.冷藏鲢鱼优势腐败菌致腐能力的初步分析[J].食品与发酵工业,2017,43(6):140-145.
- [36] Gill C O, Badoni M, Jones T. Hygienic effects of trimming and washing operations in a beef-carcass-dressing process [J]. Journal of Food Protection, 1996, 59(6): 666-669.
- [37] Gram L, Dalgaard P. Fish spoilage bacteria - problems and solutions [J]. Current Opinion in Biotechnology, 2002, 13(3): 262-266.
- [38] 蓝蔚青,谢晶.传统生理生化鉴定技术结合PCR法分析复合保鲜剂对冷藏带鱼贮藏期间菌相变化的影响[J].食品工业科技,2012,33(10):330-335.
- [39] Li M, Lin H, Khan M N, et al. Effects of bacteriophage on the quality and shelf life of *Paralichthys olivaceus* during chilled storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(8): 1657-1662.
- [40] 赵二科.大黄鱼源希瓦氏菌的分离鉴定及菌株致腐能力差异机制初探[D].杭州:浙江工商大学,2015:19-20.
- [41] 杨胜平,章镇,程颖,等.培养温度对腐败希瓦氏菌DSM6067生长动力学及细胞膜理化特性的影响[J].中国食品学报,2020,20(2):228-236.
- [42] 李琳,潘子强.水产品特定腐败菌的确定及生长模型建立研究进展[J].食品研究与开发,2011,32(6):152-156.
- Micronization potentiates curcumin's anti-seizure effect and brings an important advance in epilepsy treatment [J]. Scientific Reports, 2018, 8: 2645.
- [28] 张福君,瞿晶田,王强.超微粉碎技术对灵芝中三萜类成分溶出的影响[J].中国药房,2018,29(5):599-602.
- [29] Huang X, Liang K H, Liu Q, et al. Superfine grinding affects physicochemical, thermal and structural properties of *Moringa oleifera* leaf powders [J]. Industrial Crops and Products, 2020, 151: 112472.
- [30] 刘清斌,周宇.复水黑木耳热风干燥特性的研究[J].食品科技,2008,33(11):87-90.
- [31] 陈合,赵燕,秦俊哲,等.食用菌真空冷冻干燥工艺研究[J].食品工业科技,2005,26(4):104-106.
- [32] 崔蕊静,邹静,康维氏.枸杞普通粉超微粉碎对其物化特性的影响[J].食品科技,2017,42(4):49-52,56.
- [33] 江润生,刘梦虎,易香羽,等.干燥方式对银杏全粉品质及抗氧化能力分析[J].食品科技,2019,44(12):79-84.
- [34] 黄梅华,吴儒华,何全光,等.不同粒径金花茶茶花粉体物理特性[J].食品科学,2018,39(3):76-82.
- [35] 贾牛群,张名位,唐小俊,等.低温超微粉碎对龙眼果肉全粉物理性质的影响[J].广东农业科学,2012,39(12):96-100.
- [36] 高春生,单利,崔光华,等.粉末直接压片工艺主要辅料的流动性研究[J].科学技术与工程,2004,4(5):367-370.
- [37] 李建芳,豆成林,王荣荣.不同干燥方式对木耳菜品质特性的影响研究[J].食品研究与开发,2012,33(9):61-63.