

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202407046



不同干燥方式对鹿茸菇品质的影响

于海玲, 汪依霓, 万雨欣, 杨苗, 彭汇涵, 王明元, 刘建福

(华侨大学 化工学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为探究不同干燥方式对鹿茸菇品质的影响,以新鲜鹿茸菇为原料,分别采用热风干燥、微波干燥及真空冷冻干燥 3 种方式,对处理后的鹿茸菇外观、营养成分质量分数、抗氧化活性和复水特性进行检测。结果表明:不同干燥方式对鹿茸菇外观及营养成分质量分数的影响不同,真空冷冻干燥能较好地保持样品外观,热风干燥次之,微波干燥对鹿茸菇外观影响最大;3 种干燥方式中,真空冷冻干燥鹿茸菇的多糖与蛋白质质量分数高于其他两种干燥方式,而热风干燥鹿茸菇的粗纤维和脂肪质量分数较高,微波干燥鹿茸菇菌盖的总酚和总黄酮质量分数最高,分别为 $4.95, 7.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;干燥后鹿茸菇酚类物质具有较强的清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的能力,各处理组间的复水比呈现显著差异;真空冷冻干燥鹿茸菇干品的各项指标最佳,为较优干燥方式。

关键词: 鹿茸菇; 干燥方式; 营养成分; 复水特性

中图分类号: S 646.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2024)05-0673-08

Effect of Different Drying Methods on Quality of *Lyophyllum decastes*

YU Hailing, WANG Yini, WAN Yuxin, YANG Miao,
PENG Huihan, WANG Mingyuan, LIU Jianfu

(College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: To explore the effects of different drying techniques on the quality of *Lyophyllum decastes*, fresh *Lyophyllum decastes* was used as starting material, and three methods including hot air drying, microwave drying and vacuum freeze-drying were used to test the appearance, mass fraction of nutrient component, antioxidant activity and rehydration properties of *Lyophyllum decastes* after treatment. The results showed that different drying methods had different effects on the appearance and mass fraction of nutrient component of *Lyophyllum decastes*. Vacuum freeze-drying could better maintain the appearance of the sample, followed by hot air drying, and microwave drying had the most impact on the appearance of *Lyophyllum decastes*. Among the three drying methods, the mass fractions of polysaccharide and protein of vacuum freeze-dried *Lyophyllum decastes* were higher than those by the other two drying methods, while the mass fractions of crude fiber and fat of hot air dried *Lyophyllum decastes* were higher, and the mass fractions of total phenolic and total flavonoid of microwave dried *Lyophyllum decastes* caps were the highest at 4.95 and $7.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. After drying, the phenolic substances of *Lyophyllum decastes* had strong ability to scavenge DPPH free radicals and ABTS free radicals, and the rehydration ratios between each treatment group showed significant

收稿日期: 2024-07-30

通信作者: 于海玲(1989-),女,讲师,博士,主要从事草地生态学、园艺植物栽培与管理的研究。E-mail: yuhl@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省星火项目(2021S0036, 2022S0050); 福建省厦门市科技计划项目(3502Z20226030)

differences. The vacuum freeze drying of dried *Lyophyllum decastes* had the best indicators and was the preferred drying method.

Keywords: *Lyophyllum decastes*; drying method; nutrient component; rehydration property

鹿茸菇(*Lyophyllum decastes*)是一种食药兼用的大型真菌,因其切片外表与中国名贵中药材鹿茸的外表相似而得名。鹿茸菇营养丰富,无论菌丝体或子实体,均具有较高的营养价值^[1]。鹿茸菇含有大量的多糖、多酚、蛋白质和膳食纤维^[2],这些营养元素具有保持白血球活力、提高免疫力、改善高血压、抗肿瘤、防止组织老化等功效^[3-4]。此外,鹿茸菇含有丰富矿物质及人体所需的维生素 B 族、微量元素,必需氨基酸在氨基酸总量中的占比最高达到 40%,有着广阔的生物医药开发和保健食品应用前景^[5-6]。

我国鹿茸菇的种植区域主要集中在江苏、云南、新疆、内蒙古、辽宁、黑龙江等地区^[7],工厂化栽培基地主要集中在江苏和山东。目前,我国鹿茸菇年产量约 32 万 t,具有广阔的开发前景。新鲜采摘的鹿茸菇容易腐烂,贮藏时间较短。干燥是食用菌加工方式里极为重要的一步,它能够有效地降低食用菌的含水率,显著地延长食用菌的货架期。将鹿茸菇制成干品可以延长货架期,提高鹿茸菇的附加值,助力产业升级。不同的干燥方法会对食用菌干制后的外观(色泽、形态)、味道(香气、风味)及营养成分质量分数产生不同的影响。因此,选择适宜的干燥方法对减少食用菌营养成分损失尤为重要。虽然鹿茸菇目前已经工厂化生产,但有关干燥工艺对鹿茸菇的品质研究还有待补充。基于此,本文采用热风干燥、微波干燥及真空冷冻干燥 3 种方式对新鲜鹿茸菇进行处理,探究不同干燥方式对鹿茸菇外观及营养成分质量分数的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜鹿茸菇由福建省厦门市如意食用菌生物高科技有限公司提供。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 将新鲜鹿茸菇的菌柄与菌盖切分开,其中,菌柄切成 20 mm 小段备用。

热风干燥:将鹿茸菇样品置于电热鼓风干燥箱内,65 ℃加热烘干,直至质量无明显变化。

微波干燥:将鹿茸菇样品置于微波炉,加热,使样品表面焦黄后,取出,短暂多次加热,直至质量无明显变化。

真空冷冻干燥:将鹿茸菇样品置于超低温冰箱中,−80 ℃冷冻 24 h,冷冻后放入冷冻干燥机,干燥 12 h 后称质量,再次放入冷冻干燥机,多次测定直至质量无明显变化。

1.2.2 鹿茸菇营养成分质量分数的测定 根据 NYT 1676—2008《食用菌中多糖含量的测定》中的苯酚-硫酸法,测定鹿茸菇中的多糖质量分数。根据 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中的分光光度法,测定鹿茸菇中的蛋白质质量分数。根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法,测定鹿茸菇中的脂肪质量分数。根据 GB 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》中的酸碱法,测定鹿茸菇中的粗纤维质量分数。对文献[8]的方法稍做改进,测定鹿茸菇中总酚及总黄酮质量分数。

1.2.3 鹿茸菇水提物抗氧化能力的测定 取 2 mL 的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基溶液与 2 mL 鹿茸菇样品溶液(0.5~50.0 μg·mL^{−1})混匀,采取紫外分光光度法测定其吸光度,并用体积分数为 95%的乙醇溶液作为对照组重复实验。

DPPH 自由基清除率($\eta(\text{DPPH})$)为

$$\eta(\text{DPPH})=\left(1-\frac{D_1-D_2}{D_0}\right)\times 100\%。$$

上式中: D_1 为样品组吸光度; D_2 为对照组吸光度; D_0 为空白组吸光度。

取 0.1 mL 鹿茸菇样品溶液与 2.9 mL 的 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)自由基溶液混匀后测吸光度,空白组为乙醇(体积分数为 95%)替代样品液。

ABTS 自由基清除率($\eta(\text{ABTS})$)为

$$\eta(\text{ABTS})=\left(1-\frac{D_1}{D_0}\right)\times 100\%。$$

1.2.4 鹿茸菇复水能力及复水浸泡液中营养物质的测定 取完整的鹿茸菇干制品置于温度为 45 ℃ 的蒸馏水(料液比为 1 : 40)中。恒温水浴,每隔 10 min 取出,并沥干水份 1 min,直至质量无明显变化后,复水完成。

复水比(R)的计算公式为

$$R=\frac{m_1}{m_2}。$$

上式中: m_1 为复水后鹿茸菇的质量,g; m_2 为鹿茸菇干制品的质量,g。

复水浸泡液中多糖质量分数的测定参考文献[8]的苯酚-硫酸比色法。分别称取 3 种鹿茸菇浸泡液各 1.0 g 左右,按照节 1.2.2 的方法,测定鹿茸菇复水浸泡液中蛋白质的质量分数。

1.2.5 数据分析 不同干燥方式处理后鹿茸菇营养成分质量分数差异采用单因素方差分析进行比较,多重比较方法采用最小显著差异(LSD)法。

采用 Origin Pro 2021 软件进行制图,采用 SPSS Statistics 26 软件进行数据统计分析,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 实验结果与分析

2.1 不同干燥方式对鹿茸菇外观品质的影响

不同干燥方式处理后鹿茸菇外观及复水后外观变化,如图 1 所示。



图 1 不同干燥方式处理后鹿茸菇外观变化

Fig. 1 Appearance changes of *Lyophyllum decastes* after treatment with different drying methods

由图 1 可知:经过不同方式干燥后,鹿茸菇的体积明显缩小,表面颜色加深的同时,也出现了皱缩;真空冷冻干燥鹿茸菇的体积变化最小,表面颜色最浅(图 1(c),1(f)),热风干燥鹿茸菇表面出现了大量皱缩(图 1(a),图 1(d)),微波干燥鹿茸菇表面颜色最深(图 1(b),图 1(e));经过真空冷冻干燥后,新鲜鹿茸菇的形状和体积几乎无变化,可能是因为在干燥过程中,鹿茸菇中的水分直接升华散失而不破坏其多孔结构,由于没有经过高温加工,鹿茸菇的表面质构所受影响较小。热风干燥鹿茸菇表面的干缩程度大于微波干燥鹿茸菇和真空冷冻干燥鹿茸菇,这可能是由于长时间的高温加工,对鹿茸菇的质构有较大的影响。

2.2 不同干燥方式对鹿茸菇含水率的影响

经过 3 种干燥方式处理后,鹿茸菇菌盖含水率的差异并不明显,鹿茸菇菌柄含水率则存在一定差异。不同干燥方式处理后鹿茸菇的含水率(δ),如表 1 所示。

由表 1 可知:3 种干燥方式中,热风干燥和微波干燥同属于高温干燥,在高温环境中,水分蒸发速度较快,整体干燥效率较高,故热风干燥和微波干燥的菌柄含水率小于真空冻干干燥菌柄。

此外,在高温干燥过程中,物料内部的水分都会经过物料表面蒸发,而长时间的高温处理,会使物料表面产生不同程度的结壳和硬化现象,影响干燥效率,故相同干燥条件下,物料形状的大小会对干燥效率产生一定影响,切碎后的菌柄含水率会明显小于菌盖含水率。

表 1 不同干燥方式处理后鹿茸菇的含水率

Tab. 1 Moisture content of *Lyophyllum decastes* after treatment with different drying methods

干燥方式	δ (菌柄)/%	δ (菌盖)/%
热风干燥	10.72±1.01	11.60±0.78
微波干燥	11.17±0.89	11.91±2.03
真空冷冻干燥	11.90±1.22	11.47±1.31

2.3 不同干燥方式对鹿茸菇多糖及蛋白质质量分数的影响

不同干燥方式对鹿茸菇多糖和蛋白质质量分数的影响,如图 2 所示。图 2 中:不同大写字母表示不同干燥方式处理菌柄的差异性;不同小写字母表示不同干燥方式处理菌盖的差异性($P<0.05$); w 为质量分数。

由图 2 可知以下 2 个结论。

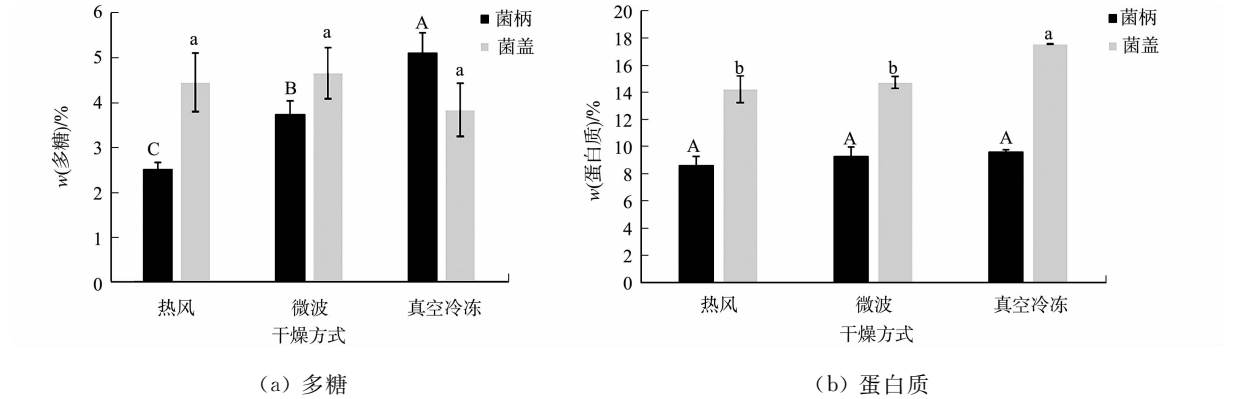


图 2 不同干燥方式对鹿茸菇多糖和蛋白质质量分数的影响

Fig. 2 Effects of different drying methods on mass fraction of polysaccharide and protein of *Lyophyllum decastes*

1) 采用 3 种干燥方式处理鹿茸菇菌柄及菌盖,其多糖质量分数为 2.52%~5.11%,且菌盖中的多糖质量分数高于菌柄;热风干燥鹿茸菇菌柄中的多糖质量分数最低,仅为 2.52%,说明热风干燥对鹿茸菇中多糖的破坏最大;真空冷冻干燥鹿茸菇菌柄中多糖质量分数最高,达到 5.11%;微波干燥鹿茸菇菌柄的多糖质量分数高于热风干燥鹿茸菇菌柄,但低于真空冷冻干燥鹿茸菇菌柄。

2) 不同干燥方式处理下,鹿茸菇菌柄与菌盖的蛋白质质量分数均具有明显差异,菌盖的蛋白质质量分数显著高于菌柄的蛋白质质量分数;3 种干燥方式对鹿茸菇蛋白质质量分数影响并不大,不同干燥处理下,菌柄中蛋白质质量分数未表现出明显差异,真空冷冻干燥鹿茸菇菌盖具有较高的蛋白质质量分数,可得 17.54%,显著高于热风干燥鹿茸菇菌盖和微波干燥鹿茸菇菌盖。

2.4 不同干燥方式对鹿茸菇脂肪质量分数的影响

不同干燥方式对鹿茸菇脂肪质量分数的影响,如图 3 所示。

由图 3 可知:不同干燥方式下,鹿茸菇脂肪的质量分数为 9.3%~16.5%,且菌盖中的脂肪质量分数均大于菌柄中的脂肪质量分数;热风干燥鹿茸菇的菌盖和菌柄中脂肪质量分数差异不显著,但和另外两种干燥方式相比,其脂肪质量分数最高;微波干燥和真空冷冻干燥下,鹿茸菇菌盖和菌柄的脂肪质量分数具有明显差异,但鹿茸菇相同部位的微波干燥与真空冷冻干燥的差异不显著。

2.5 不同干燥方式对鹿茸菇粗纤维质量分数的影响

不同干燥方式对鹿茸菇粗纤维质量分数的影响,如图 4 所示。

由图 4 可知:不同干燥方式下,鹿茸菇粗纤维质量分数为 2.07%~6.14%;热风干燥鹿茸菇菌柄和菌盖中的粗纤维质量分数均高于其他干燥方式处理下的菌柄和菌盖,真空冷冻干燥鹿茸菇菌盖中的粗纤维质量分数显著低于其他处理组。

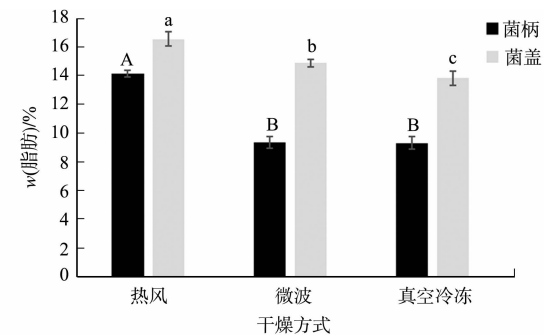


图 3 不同干燥方式对鹿茸菇脂肪质量分数的影响
Fig. 3 Effects of different drying methods on mass fraction of fat of *Lyophyllum decastes*

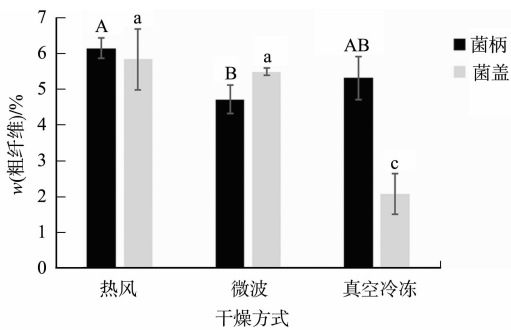


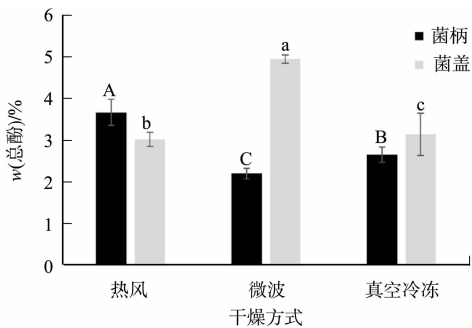
图 4 不同干燥方式对鹿茸菇粗纤维质量分数的影响
Fig. 4 Effects of different drying methods on mass fraction of crude fiber of *Lyophyllum decastes*

2.6 不同干燥方式对鹿茸菇总酚及总黄酮质量分数的影响

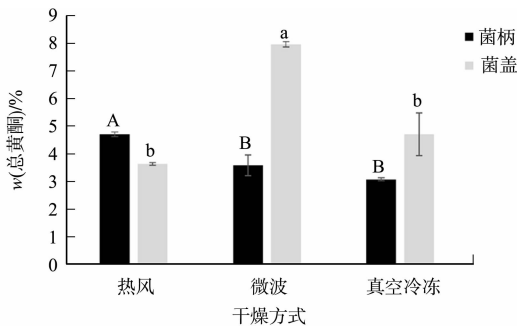
不同干燥方式对鹿茸菇总酚和总黄酮质量分数的影响,如图 5 所示。

由图 5(a)可知:在热风、微波和真空冷冻干燥下,鹿茸菇相同部位中的总酚质量分数呈现显著差异;总酚质量分数最高的是微波干燥的鹿茸菇菌盖,其次是热风干燥的菌柄,而真空冷冻干燥下,鹿茸菇菌柄和菌盖的总酚质量分数也不低。

由图 5(b)可知:不同干燥方式下,总黄酮质量分数为 3.07%~7.96%;在热风、微波和真空冷冻 3 种不同的干燥方式处理下,鹿茸菇总黄酮质量分数呈现显著差异,微波干燥鹿茸菇菌盖的总黄酮质量分数最高;不同干燥方式对鹿茸菇总黄酮质量分数的影响与不同干燥方式对鹿茸菇总酚质量分数的影响呈现相似的趋势变化。



(a) 总酚



(b) 总黄酮

图 5 不同干燥方式对鹿茸菇总酚和总黄酮质量分数的影响
Fig. 5 Effects of different drying methods on mass fraction of total phenols and total flavonoids of *Lyophyllum decastes*

2.7 鹿茸菇抗氧化能力分析

2.7.1 DPPH 自由基清除能力分析 鹿茸菇酚类物质对 DPPH 自由基的清除率,如图 6 所示。图 6

中: ρ 为酚类物质的质量浓度。

由图 6 可知:当酚类物质的质量浓度为 $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,维生素 C(Vc)对 DPPH 自由基的清除率达到 96.01%,鹿茸菇对 DPPH 自由基的清除率随着酚类物质质量浓度的增加而逐渐升高;当酚类物质质量浓度为 $25\sim 50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,曲线的起伏变化不大,说明此阶段对 DPPH 自由基的清除率基本不变;当酚类物质的质量浓度较低时,热风干燥菌柄对 DPPH 自由基的清除能力最弱,当酚类物质的质量浓度达到 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 后,真空冷冻干燥菌柄对 DPPH 自由基的清除率最低,清除率仅为 67.13%,而其他处理组对 DPPH 自由基的清除率均达到 73%以上。

不同干燥方式下鹿茸菇的抗氧化活性,如表 2 所示。表 2 中:采用半数有效浓度(EC_{50})来表征鹿茸菇的抗氧化活性。

由表 2 可知:不同处理组的 EC_{50} 的差异较小;微波干燥菌盖的 EC_{50} 最大,为 $(42.96\pm 1.84)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,真空冷冻干燥菌盖的 EC_{50} 最小,为 $(2.16\pm 2.91)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

表 2 不同干燥方式下鹿茸菇的抗氧化活性

Tab. 2 Antioxidant activity of *Lyophyllum decastes* under different drying methods

处理组	$\text{EC}_{50}/\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	
	DPPH	ABTS
热风干燥菌柄	5.75 ± 0.09	7.91 ± 0.94
热风干燥菌盖	5.17 ± 0.26	8.28 ± 1.55
微波干燥菌柄	4.60 ± 0.18	11.24 ± 2.10
微波干燥菌盖	6.57 ± 0.23	42.96 ± 1.84
真空冷冻干燥菌柄	5.01 ± 2.78	8.67 ± 0.55
真空冷冻干燥菌盖	2.16 ± 2.91	15.09 ± 11.35

2.7.2 ABTS 自由基清除能力分析 鹿茸菇酚类物质对 ABTS 自由基的清除率,如图 7 所示。

由图 7 可知:当酚类物质的质量浓度为 $50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,Vc 对 ABTS 自由基的清除率达 99%,清除率随酚类物质质量浓度增加而升高;当酚类物质的质量浓度较低时,真空冷冻干燥菌盖对 ABTS 自由基的清除能力最弱;当酚类物质质量浓度为 $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,微波干燥和真空冷冻干燥菌盖的清除能力较弱,清除率分别为 63.78%,67.74%,而其他处理组的清除率均达到 84%以上。

由表 2 还可知:微波干燥菌盖的 EC_{50} 最大,为 $(42.96\pm 1.84)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,热风干燥菌盖的 EC_{50} 最小,为 $(8.28\pm 1.55)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

2.8 鹿茸菇复水特性分析

不同干燥方式处理后鹿茸菇复水比,如图 8 所示。由图 8 可知:真空冷冻干燥鹿茸菇的复水比最大(4.0),微波干燥次之,热风干燥最差(2.1)。

不同干燥方式鹿茸菇复水后多糖和蛋白质的溶出量,如图 9 所示。由图 9 可知:微波干燥和真空冷冻干燥鹿茸菇在复水时溶出的多糖质量分数表现显著性差异,分别为 0.12%,0.14%,但与热风干燥鹿茸菇复水时溶出的多糖质量分数无显著性差异;不同干燥方式鹿茸菇复水后蛋白质的溶出量呈现显著差异,微波干燥鹿茸菇复水时溶出的蛋白质质量分数较低,其次是真空冷冻干燥鹿茸菇,热风干燥鹿茸菇复水后的溶出蛋白质质量分数最高。

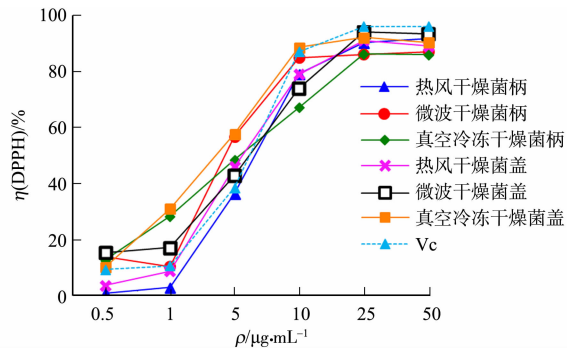


图 6 鹿茸菇酚类物质对 DPPH 自由基的清除率

Fig. 6 DPPH free radical scavenging rate by phenolic substances of *Lyophyllum decastes*

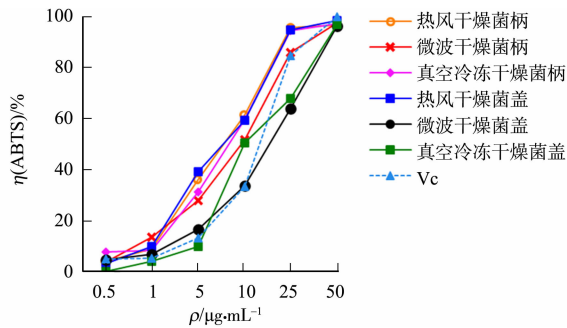
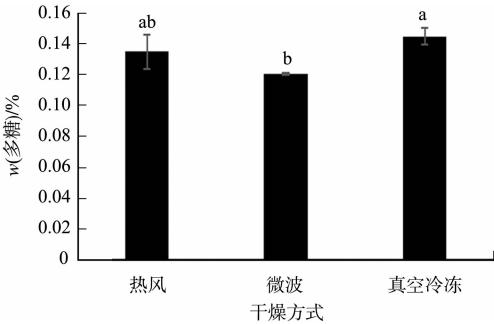


图 7 鹿茸菇酚类物质对 ABTS 自由基的清除率

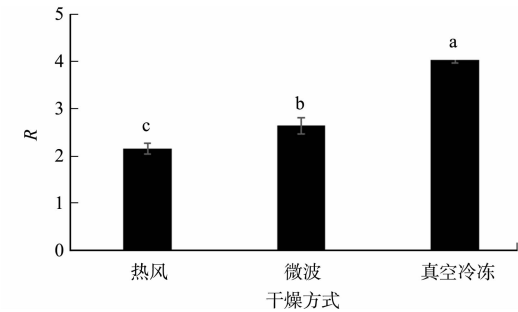
Fig. 7 ABTS free radical scavenging rate by phenolic substances of *Lyophyllum decastes*

3 讨论

食用菌干燥技术主要分为传统干燥、新型干燥和联合干燥 3 类^[9]。其中,传统干燥又分为自然干燥和热风干燥,具有操作简单和可大批量生产的优点。自然干燥的缺点体现在干燥过程不易控制、卫生条件差等。因此,自然干燥在实际生产中应用较少^[10]。热风干燥基于热量传递系统,使热风在干燥室内产生对流,提高物料表面温度,使物料水分蒸发,达到干燥的目的^[11-12]。研究表明,热风干燥对多糖和蛋白质的破坏最大,可能因为较高的温度会引



(a) 多糖



(b) 蛋白质

图 9 不同干燥方式下鹿茸菇复水后多糖和蛋白质的溶出量

Fig. 9 Dissolved amount of polysaccharide and protein after rehydration of *Lyophyllum decastes* under different drying methods

起蛋白质发生美拉德反应,从而引起蛋白质损失^[13]。Xu 等^[14]采用高温预加热处理后对香菇进行传统热风干燥,该处理方式下香菇的复水率和硬度提升,收缩率、褐变度和甲醛含量降低。Liu 等^[15]通过控制湿物料水分蒸发速率从而控制干燥室的加湿策略。结果表明,杏鲍菇加湿 30 min 可有效改善产品质量,缩短 15% 的干燥时间,降低 23% 的干燥能耗,提高干燥系统的可持续性。

新型干燥主要有热泵干燥、真空冷冻干燥、太阳能干燥、红外辐射干燥、微波干燥及真空干燥等^[9]。相对于传统干燥方式,新型干燥技术更能保证产品质量的稳定性。文中研究结果表明,微波干燥对鹿茸菇外观影响最大,可能因为在高温干燥过程中发生美拉德反应,反应中产生的类黑素使鹿茸菇表面颜色加深,也有可能是因为水分扩散不均匀而出现过热,使鹿茸菇边角焦化加深^[9]。微波处理过后鹿茸菇总酚质量分数最高,这可能是因为鹿茸菇的糖苷键和酯键被破坏,使与糖类或细胞壁相结合的酚类物质被释放^[16]。真空冷冻干燥鹿茸菇菌柄总酚质量分数也相对较高,这可能是因为真空环境下与氧气相隔绝,低温条件也使相关酶活性降低,使样品中酚类物质不易被氧化^[17]。焦睿智等^[18]发现真空微波干燥处理黑木耳时间短和效率高,对理化指标影响较小且具有良好抗生素残留降解效果。陈冰洁等^[19]发现真空冷冻干燥对花菇结构损伤最小,干燥的花菇复水比高和收缩率小,具有良好的色泽品质、可溶性蛋白和可溶性糖的保留率高。由此可见,新型干燥技术对于保证鹿茸菇综合品质方面胜于传统干燥技术。

DPPH, ABTS 自由基清除法是评价抗氧化物质清除自由基能力广泛使用的两种方法^[20-21]。研究结果表明,不同干燥方式下的鹿茸菇总酚物质都具有较强 DPPH 自由基清除能力,干燥过程可能并未显著改变鹿茸菇中总酚物质的化学结构或抗氧化活性,使这些化合物在干燥后依然能够有效捕获并中和 DPPH 自由基。

研究还揭示,鹿茸菇不同部位的总酚物质在 ABTS 自由基清除实验中均表现出较高的活性,这进一步证实了鹿茸菇作为一种天然抗氧化剂资源的广泛适用性。后续研究可聚焦于分离鉴定鹿茸菇各部位的主要抗氧化成分,并深入探讨这些成分的结构与抗氧化活性之间的关系,为鹿茸菇在功能性食品、保健品及药物开发中的精准应用提供科学依据。

4 结 束 语

3 种干燥方式会对鹿茸菇产生不同程度的影响,其中,真空冷冻干燥可以更有效地保持新鲜鹿茸菇的外观,且得到各项营养成分较多的干品。不同干燥方式下,鹿茸菇总酚物质都具有很强的 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力,而干品鹿茸菇复水能力由强到弱为真空冷冻干燥、微波干燥、热风干燥。综上,真空冷冻干燥得到的鹿茸菇各项指标良好,是干燥鹿茸菇的最佳方式。

参考文献:

[1] 程继红. 名贵食药菌鹿茸菇商业化生产现状与发展前景[J]. 食药用菌, 2014(4):194-197.

[2] 席亚丽, 茆爱丽, 王晓琴, 等. 荷叶离褶伞子实体、菌丝体及发酵液蛋白质营养价值评价[J]. 菌物学报, 2010, 29(4): 603-607.

[3] UKAWA Y, ITO H, HISAMATSU M. Antitumor effects of (1→3)-β-D-glucan and (1→6)-β-D-glucan purified from newly cultivated mushroom, Hatakesimeji (*Lyophyllum decastes* Sing.) [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2000, 90(1): 98-104. DOI:10. 1016/S1389-1723(00)80041-9.

[4] 王晓琴, 曹礼, 郑秀芳, 等. 荷叶离褶伞多糖的提取工艺及其抑菌作用的研究[J]. 中国食品工业, 2009(12): 51-53.

[5] 张汉斌, 张芬琴, 王小明, 等. 荷叶离褶伞子实体营养成分分析与评价[J]. 菌物学报, 2008, 27(5): 696-700.

[6] 李文佼, 温世勇, 张洪勇, 等. 鹿茸菇研究进展[J]. 中国食用菌, 2022, 41(3): 1-5.

[7] 李立功. 荷叶离褶伞研究进展[J]. 中国林副特产, 2019(1): 79-81. DOI:10. 13268/j. cnki. fbsic. 2019. 01. 032.

[8] 赵圆圆, 易建勇, 毕金峰, 等. 干燥方式对复水香菇感官、质构及营养品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(3): 101-108. DOI:10. 7506/spkx1002-6630-20171108-091.

[9] 张越翔, 刘静, 吴小恬, 等. 食用菌干燥技术研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(1): 24-33. DOI:10. 19590/j. cnki. 1008-1038. 2022. 01. 004.

[10] 陶盛昌, 李文佳, 邱健健, 等. 食药菌干燥技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 171-178. DOI:10. 3969/j. issn. 1009-6221. 2019. 01. 029.

[11] 于蒙杰, 张学军, 牟国良, 等. 我国热风干燥技术的应用研究进展[J]. 农业科技与装备, 2013, 4(8): 14-16. DOI:10. 16313/j. cnki. nykjyzb. 2013. 08. 002.

[12] TIAN Yuting, ZHAO Yingting, HUANG Jijun, *et al.* Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 714-722.

[13] 杜冉, 郑新雷, 王世雄, 等. 真空微波干燥技术对食用菌粉品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 76-82. DOI:10. 13684/j. cnki. spkj. 2018. 07. 015.

[14] XU Lei, FANG Xiangjun, WU Weijie, *et al.* Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) [J]. Food Chemistry, 2019, 285(5): 406-413. DOI:10. 1016/j. foodchem. 2019. 01. 179.

[15] LIU Ziliang, ZIELINSKA M, YANG Xuhai, *et al.* Moisturizing strategy for enhanced convective drying of mushroom slices[J]. Renewable Energy, 2021, 172(5): 728-739. DOI:10. 1016/j. renene. 2021. 03. 066.

[16] 李思童. 油茶籽油不同形态酚类化合物抗氧化互作及油相迁移特征[D]. 扬州: 扬州大学, 2021.

[17] 邢颖, 张月, 徐怀德, 等. 不同干燥方法对生姜叶活性成分和抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 8075-8086.

[18] 焦睿智, 岳田利, 高振鹏, 等. 不同干燥方式对黑木耳理化特性及抗生素含量变化的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 87-94.

[19] 陈冰洁, 刘贵阁, 路遥, 等. 不同干燥方式对花菇品质的影响[J]. 上海农业学报, 2023, 39(2): 82-87. DOI:10. 15955/j. issn1000-3924. 2023. 02. 14.

[20] 韦献雅, 殷丽琴, 钟成, 等. DPPH 法评价抗氧化活性研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 317-322. DOI:10. 7506/spkx1002-6630-201409062.

[21] 刘青, 刘珍玲, 周娟. 金线莲多糖的体外抗氧化活性[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2010, 31(6): 718-720. DOI: 10. 11830/ISSN. 1000-5013. 2010. 06. 0718.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 刘源岗)