

干燥方式对牛肝菌干燥特性、品质及抗氧化能力的影响

Effects of different drying methods on drying characteristics, quality and antioxidant capacity of *Boletus edulis*

郑俏然 周凤 邢洁 陶雯

ZHENG Qiao-ran ZHOU Feng XING Jie TAO Wen

陈露红 李文峰 高晓旭 谭颀

CHEN Lu-hong LI Wen-feng GAO Xiao-xu TAN Si

(长江师范学院生命科学与技术学院, 重庆 涪陵 408100)

(College of Life Science and Technology, Yangtze Normal University, Fuling, Chongqing 408000, China)

摘要:以武陵山区新鲜牛肝菌为原料,采用真空冷冻干燥、热风干燥(60,70,80℃)、微波+60℃热风干燥以及超声波+60℃热风干燥6种不同方式对牛肝菌进行干燥处理,考察干燥方式对牛肝菌色泽、干燥速率、多酚、黄酮及多糖含量的影响,并进一步分析了6种干燥产品的抗氧化活性。研究结果表明,真空冷冻干燥产品颜色变化较小,微波预处理及超声波预处理加深了牛肝菌的颜色;微波+热风干燥法的干燥速率最快,干燥时间为5.5h,干燥用时最短,而真空冷冻干燥能最大程度地保留牛肝菌的活性物质,其多糖、黄酮、多酚的含量分别为147.24,3.70,6.69mg/g,且显示出最强的抗氧化活性,其次是60℃热风干燥。考虑到生产成本,60℃热风干燥是牛肝菌干燥最为合理的方式。

关键词:牛肝菌;干燥特性;多酚;黄酮;抗氧化活性

Abstract: Effects of six drying methods were evaluated, including vacuum freeze, hot air drying, microwave pretreatment and ultrasonic pretreatment drying on six indexes of drying dynamics characteristics, color, polyphenol content, total flavonoid content, polysaccharides content and antioxidant activity of *Boletus edulis*. The results showed that the smallest color changes were detected in materials treated under vacuum freeze drying, while the most significant color change was observed under microwave pretreatment

drying. *Boletus edulis* treated under vacuum freeze drying showed significantly higher amount in total flavonoids, polyphenol, polysaccharides contents and stronger antioxidant activity than the other samples. Taking the cost into account, 60℃ hot air drying method is the best choices because they had good performance in maintaining color and active components in *Boletus edulis*.

Keywords: *Boletus edulis*; drying characteristics; polyphenol; total flavonoids; antioxidant activity

干燥是食品加工中非常重要的操作单元,通过干燥处理,可以降低食品物料中的水分含量,降低水分活度,有效控制食品微生物的生长繁殖,延长食品货架期,降低运输成本。目前常见的干燥方式有自然干燥、热风干燥、热泵干燥、真空冷冻干燥、微波干燥、红外干燥、减压干燥等,不同的干燥方式对食品品质的影响不同^[1]。

牛肝菌隶属于真菌门,担子菌亚门,层菌纲,伞菌目,牛肝菌科,俗称“大脚菌”,是一种药食兼用的珍稀食用菌^[2]。牛肝菌中所含活性成分主要有多糖^[3]、多酚^[4]、黄酮^[5]等,研究发现,这些活性成分具有抗氧化^[6]、免疫调节、预防癌症^[7]、保护肝损伤^[8]等多种生物学活性。

新鲜牛肝菌由于含水量高,保存期短,不利于运输,极大地限制了牛肝菌产业的发展。近年来,一些研究^[9-10]表明,超声波及微波等处理能加快果蔬的干燥速率,提高生产效率,节约成本。然而,目前牛肝菌干燥常采用晒干和烘干房烘干等传统方式,耗时长,效率低,并且造成营养物质损失较大^[11]。本研究拟采用真空冷冻干燥、热风干燥(60~80℃)、超声波+60℃热风干燥、微波+60℃热风干燥6种方式对

基金项目:教育部春晖计划(编号:Z2016179);重庆市科委基础与前沿研究计划项目(编号:cstc2016jcyjA0414);重庆市教委科学技术研究项目(编号:KJQN201801436)

作者简介:郑俏然,女,长江师范学院副教授,博士。

通信作者:高晓旭(1967—),男,长江师范学院教授,博士。

E-mail:122807783@qq.com

收稿日期:2018-07-31

牛肝菌进行干燥,探讨干燥方式对牛肝菌色泽、干燥速率、活性物质及抗氧化活性的影响,以期获得牛肝菌的理想干燥工艺,为牛肝菌的深加工提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

牛肝菌:购于重庆市彭水武陵山区;

芦丁、福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH): $\geq 95\%$,上海源叶生物科技有限公司;

苯酚、没食子酸:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

亚硝酸钠、铁氰化钾、硝酸铝:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

超声波清洗机:SB-5200 DTDI型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

微波炉:P70F20CL-DG(B0)型,广东格兰仕微波炉电器制造有限公司;

高速万能粉碎机:FW80型,天津市泰斯特仪器有限公司;

全自动新型热风干燥箱:ZFD-5040型,上海智成分析仪器制造有限公司;

旋转蒸发器:XD-52AA型,上海贤德实验仪器有限公司;

全波长酶标仪:PT-3502C型,北京普天新桥技术有限公司;

冷冻干燥机:RLPHR 1-2 LD型,德国 Martin Christ 公司;

色差计:SC-80C型,北京康光仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 牛肝菌预处理 取新鲜饱满、无伤病的牛肝菌,用自来水清洗干净,再用抹布将牛肝菌表面的水渍擦干,备用。测得牛肝菌的初始含水量为 $(87.8\pm 0.55)\%$ 。分别称取6份牛肝菌,每份200 g,分别采用不同干燥方法干燥至样品重量损失之差为0.005 g为止^[12-13]。

1.3.2 不同干燥方式处理

(1) 热风干燥:将预处理好牛肝菌分别置于温度为60, 70, 80℃的鼓风干燥箱内干燥,每30 min测定一次重量。

(2) 微波+60℃热风干燥:取预处理好的牛肝菌于输出功率为700 W的微波炉中加热5 min,然后置于60℃鼓风干燥箱里干燥,每30 min测定一次重量。

(3) 超声波+60℃热风干燥:取预处理好的牛肝菌在300 W功率下超声处理20 min,超声处理结束后沥干水分,置于60℃鼓风干燥箱里干燥,每30 min测定一次重量。

(4) 真空冷冻干燥:将牛肝菌预先放入-20℃冰箱冷冻,随后取出后立即移入真空冷冻干燥机,打开真空泵,将牛肝菌于-60℃真空冷冻干燥10 h。为避免反复冻融影响产品品质,真空冷冻干燥未进行干燥速率测定。

干燥后的牛肝菌粉碎后过60目筛,备用。

1.3.3 水分比(MR)和干燥速率(DR)的计算

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}, \quad (1)$$

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t \times DW}, \quad (2)$$

式中:

MR——水分比,g/g;

DR——干燥速率,g/(g·min);

M_t —— t 时刻的湿基含水量,g/g·干基;

M_e ——平衡含水量,g/g·干基;

M_0 ——初始含水量,g/g·干基;

DW——干物质,g。

1.3.4 色度测定 将经不同干燥方式处理的牛肝菌粉碎机粉碎后过60目筛,置于色差仪,采用色差仪反射模式下CIE1976- $L^*a^*b^*$ 均匀表色系统测定每个样品颜色,得到色空间参数 L^* 、 a^* 、 b^* 值。其中, L^* 值表示物料色泽的明暗度, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色, L^* 值大颜色白,反之颜色暗; a^* 表示为红绿值; b^* 表示为黄蓝值。每个样品选取3个测量点,测量前将样品测量面整理平整。

1.3.5 牛肝菌多酚及黄酮的测定

(1) 牛肝菌提取液的制备:参照并改进阚森琳等^[14]的方法,分别称取不同干燥方式干燥的牛肝菌粉末3 g,放于滤纸桶中密封好,置于烧杯中加入80%甲醇溶液160 mL,再置于超声波清洗机中300 W超声20 min。取出,将其转移到索氏抽提器中,于88℃水浴锅内抽提4 h,得牛肝菌提取液。

(2) 多酚含量测定:参照李文峰^[15]的方法略加修改,分别取提取液200 μ L以及蒸馏水200 μ L于试管中再依次加入蒸馏水800 μ L、福林酚溶液200 μ L,混合均匀后避光保存6 min,再加入7%碳酸钠溶液2 mL、蒸馏水1.6 mL,混合均匀后再次避光放置90 min,而后于760 nm波长处测定吸光度(Y)。多酚含量(X)通过没食子酸标准曲线换算,线性回归方程为 $Y=0.012X-0.034$, $R^2=0.9964$ 。

(3) 黄酮含量测定:分别取提取液0.5 mL于试管中,再加入5%亚硝酸钠0.3 mL,摇匀,静置6 min后加入10%硝酸铝0.3 mL,摇匀,静置6 min后,加入1 mol/mL氢氧化钠4 mL,再分别定容至10 mL,混匀,室温下放置15 min后在510 nm波长处测定吸光度(Y)。总黄酮含量(X)通过芦丁标准曲线换算,线性回归方程为 $Y=1.8884X-0.0057$, $R^2=0.9993$ 。

1.3.6 牛肝菌多糖的测定 分别准确称量不同方式干燥的牛肝菌粉末1 g,加入90℃蒸馏水30 mL,搅拌均匀。将其置于300 W、20℃超声20 min后取出,置于90℃水浴中浸提90 min。冷却至室温后4 000 r/min离心10 min,取上层清液加入4倍体积的95%乙醇,醇沉过夜,于4 000 r/min离心15 min,乙醚及丙酮洗涤沉淀,烘干后得牛肝菌粗多糖。多糖测定采用苯酚-硫酸法^[16],于490 nm波长处测定吸光度(Y)。多糖含量(X)通过葡萄糖标准曲线换算,线性回归方程为 $Y=0.0179X+0.1041$, $R^2=0.9900$ 。

1.3.7 DPPH 自由基清除率测定 参照马虎飞等^[17]的方法,并有所改进。取牛肝菌提取液100 μ L于96孔酶标板

中,加入浓度为 1 mmol/mL 的 DPPH 溶液 100 μ L,混匀,室温放置 30 min,以乙醇作为参比,在酶标仪 517 nm 处测定吸光度,记为 A_i 。取牛肝菌提取液 100 μ L 于 96 孔酶标板中,加入 100 μ L 无水乙醇溶液,混匀,室温放置 30 min,以乙醇作为参比,在酶标仪 517 nm 处测定吸光度,记为 A_j 。空白组用 100 μ L 乙醇溶液代替提取液,吸光度为 A_c 。对照组用蒸馏水代替 DPPH 溶液,吸光度记为 A_j 。样品 DPPH 自由基清除率越大,表明其抗氧化活性越好。清除率按式(3)计算:

$$c = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_c}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

c ——清除率, %;

A_i ——DPPH 溶液与样品反应后的吸光度;

A_j ——样品与无水乙醇混合液的吸光度;

A_c ——DPPH 溶液与无水乙醇混合液的吸光度。

1.3.8 还原力测定 采用普鲁兰氏法^[18]。样品吸光度越大表明样品还原力越大,抗氧化活性越好。

1.3.9 数据处理 采用 SPSS 20.0 统计软件 Duncan 法进行方差分析;样品测定均重复 3 次,结果以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 加热干燥方式对牛肝菌干燥速率的影响

如图 1 所示,干燥过程中,牛肝菌在干燥前期水分比降低较快,随着干燥的进行,水分比降低变缓。5 种加热干燥方式相比较,微波前处理能显著加快牛肝菌的干燥速率,其水分比降低速度最快;而随着干燥温度的升高,干燥时间缩短;本试验中,超声波前处理并未加速牛肝菌的干燥速度,可能是超声波处理时间较短,超声波产生的空化效应强度还不高,因此干燥时间仍然较长。真空冷冻干燥因耗时长,且反复冻融影响产品品质,未进行干燥速率测定。

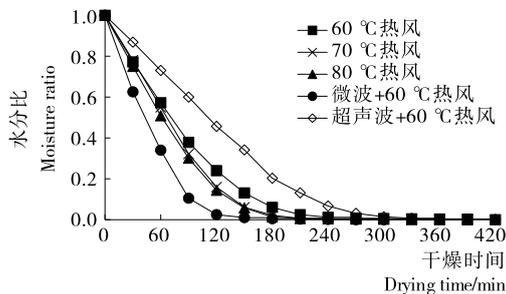


图 1 不同干燥条件下牛肝菌干燥曲线

Figure 1 Drying curves of different drying conditions

由图 2 可知,在干燥初期,微波前处理干燥方式的干燥速率最高,其整个干燥过程为降速干燥;超声波前处理干燥经历了前期的恒速干燥阶段及后期的降速干燥阶段,而热风干燥也经历了恒速干燥阶段和降速阶段,但其恒速阶段比超声波前处理干燥时间要短;此外,热风干燥时,随着温度的升高,干燥速率增加,干燥时间缩短。本试验中,微波前处理能让牛肝菌内部水分迅速蒸发,因此,干燥速率最高。

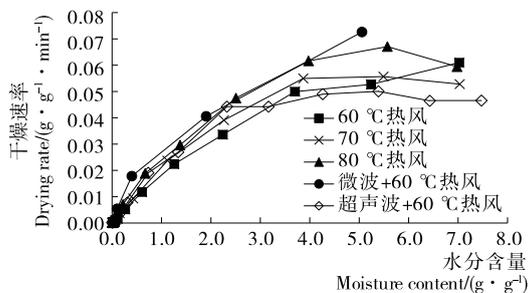


图 2 不同干燥条件下牛肝菌干燥速率曲线

Figure 2 The drying rate curves of different drying conditions

2.2 干燥方式对牛肝菌色泽的影响

由表 1 可知,干燥方式对牛肝菌色泽具有较大的影响。真空冷冻干燥样品 L^* 值为 54.39,亮度最大,与各组差异显著 ($P < 0.05$),热风干燥处理中,随着温度的升高, L^* 值逐渐降低,超声波前处理和微波前处理干燥样品 L^* 值均较低,样品明显变暗 ($P < 0.05$);80 $^{\circ}$ C 热风干燥样品 a^* 值最大,显著高于微波前处理干燥样品 ($P < 0.05$),与其他组差异不显著 ($P > 0.05$);真空冷冻干燥样品 b^* 值最大,显著高于 80 $^{\circ}$ C 热风干燥样品、微波前处理干燥样品及超声波前处理干燥样品 ($P < 0.05$)。由此可见,真空冷冻干燥样品色泽最好,其次是 60 $^{\circ}$ C 热风干燥样品。

表 1 不同干燥方法干制牛肝菌样品色度的比较[†]

Table 1 Comparison of color of dried *Boletus edulis* by different drying methods

干燥方式	L^*	a^*	b^*
60 $^{\circ}$ C 热风干燥	42.09 \pm 1.51 ^c	12.31 \pm 0.00 ^{ab}	33.75 \pm 1.91 ^d
70 $^{\circ}$ C 热风干燥	40.04 \pm 2.46 ^c	12.07 \pm 0.31 ^{ab}	29.24 \pm 1.30 ^{cd}
80 $^{\circ}$ C 热风干燥	30.29 \pm 3.42 ^b	14.79 \pm 2.91 ^b	27.48 \pm 6.87 ^c
真空冷冻干燥	54.39 \pm 0.82 ^d	10.76 \pm 0.09 ^{ab}	34.79 \pm 0.49 ^d
超声波 + 60 $^{\circ}$ C 热风干燥	26.44 \pm 1.25 ^b	11.85 \pm 0.66 ^{ab}	21.41 \pm 1.77 ^b
微波 + 60 $^{\circ}$ C 热风干燥	18.45 \pm 1.71 ^a	8.90 \pm 4.62 ^a	6.09 \pm 1.27 ^a

[†] 同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$; 同列相同小写字母表示无显著性差异, $P > 0.05$ 。

如图 3 所示,干燥方式对牛肝菌色泽有明显的影 响。真空冷冻干燥牛肝菌颜色最浅,最接近新鲜牛肝菌的颜色,而超声波前处理和微波前处理极大地加深了牛肝菌的颜色,影响了产品的商品品质。热风干燥中,随着温度的升高,牛肝菌的颜色加深,60 $^{\circ}$ C 热风干燥牛肝菌颜色较浅,70,80 $^{\circ}$ C 干燥处理后颜色明显加深。在苦荞麦芽干燥中也有相似的发现^[19]。

2.3 对牛肝菌多酚含量的影响

干燥条件下牛肝菌多酚含量见图 4。研究表明,真空冷冻干燥所得的牛肝菌多酚含量显著高于其他组 ($P < 0.05$)。在苹果幼果研究^[20-21]中也有相似的发现,通过真空冷冻干燥能较大程度地保存苹果幼果的多酚类物质,可能是低温下果实中多酚氧化酶比较稳定;热风干燥温度从 60 $^{\circ}$ C 升至

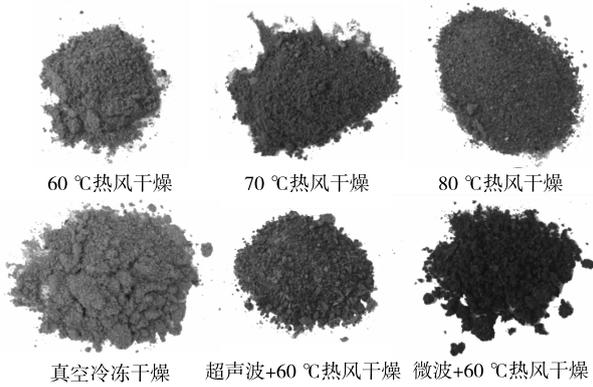
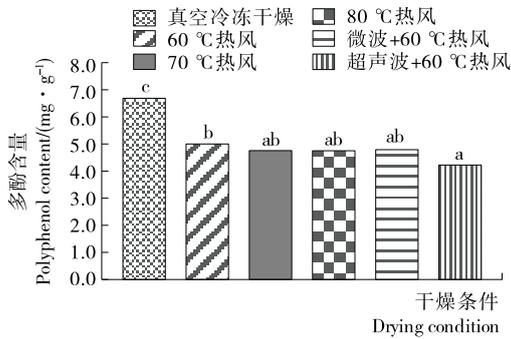


图3 干燥方式对牛肝菌色泽的影响

Figure 3 The influence of different drying methods on the colour of *Boletus edulis*



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

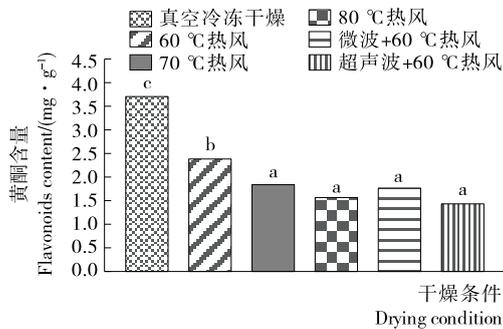
图4 干燥方式对牛肝菌多酚含量影响

Figure 4 Effects of different drying methods on polyphenol content of *Boletus edulis*

80 °C 时,各温度处理间对牛肝菌多酚含量的影响并无显著差异($P > 0.05$),这在橙皮^[13]的干燥中也有相似的发现。此外,微波前处理和超声波前处理使牛肝菌多酚有较大的损失。

2.4 干燥方式对牛肝菌黄酮含量的影响

如图5所示,真空冷冻干燥所得到的牛肝菌产品所含的黄酮含量最多($P < 0.05$),这是由于低温且隔绝了空气,相关酶的活性较低,从而减少了酶与黄酮的反应;其次是60 °C的



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

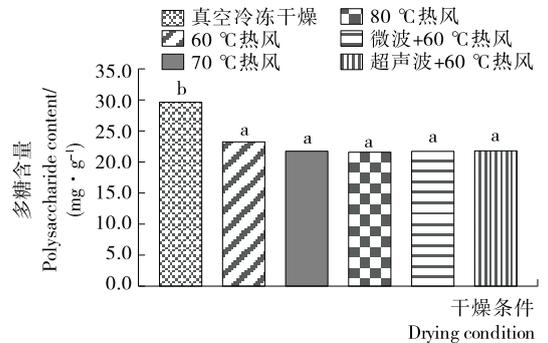
图5 干燥方式对牛肝菌黄酮含量影响

Figure 5 Effect of different drying methods on flavonoids content of *Boletus edulis*

热风干燥牛肝菌,其黄酮含量仅次于冻干产品,高于其他组($P < 0.05$);而其他组黄酮含量较低,且各组差异不显著($P > 0.05$),可能是黄酮类化合物对温度较为敏感,高温会造成黄酮的大量损失,而低温抑制了相关酶的活性,使黄酮能得到较大的保存^[22]。微波及超声波前处理会造成牛肝菌黄酮的损失增加。在苦荞麦芽干燥研究^[19]中也发现,微波干燥产品中黄酮含量较少,而真空冷冻干燥产品中黄酮含量最高。

2.5 对牛肝菌多糖含量的影响

干燥方式对牛肝菌多糖含量的影响见图6。通过真空冷冻干燥的牛肝菌产品得到的多糖含量显著高于其他组($P < 0.05$),真空冷冻干燥较好地保留多糖组分;而其他组差异不显著($P > 0.05$)。在干燥过程中,牛肝菌多糖含量并不会随干燥温度的升高而降低。微波和超声波前处理可能加速了多糖的分解,因此造成牛肝菌多糖含量也较低,这种现象在杏鲍菇的干燥研究^[1]中也有发现。



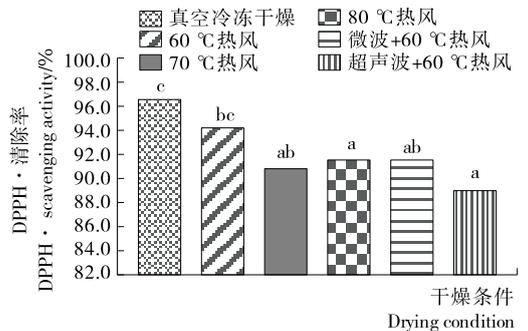
不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

图6 干燥方式对牛肝菌多糖含量的影响

Figure 6 Effects of different drying methods on polysaccharide content of *Boletus edulis*

2.6 干燥方式对牛肝菌 DPPH 自由基清除率的影响

干燥方式对牛肝菌 DPPH 自由基清除率的影响见图7。真空冷冻干燥牛肝菌的 DPPH 自由基清除率为 97.34%。与真空冷冻干燥相比,热风干燥导致了牛肝菌清除 DPPH 自由基的能力显著下降($P < 0.05$),且随着温度的升高, DPPH 自由基清除能力逐渐降低,60 °C 热风干燥牛肝菌的 DPPH 清除率显著高于 80 °C 热风干燥牛肝菌的($P < 0.05$)。80 °C 热



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

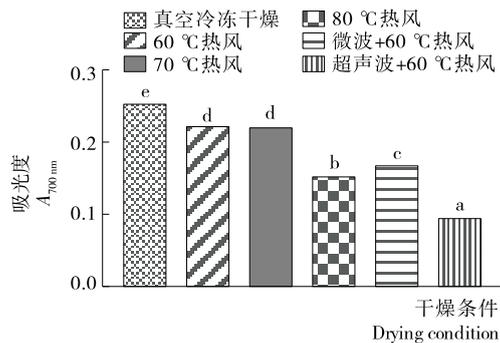
图7 干燥方式对牛肝菌 DPPH 自由基清除率的影响

Figure 7 Effect of different drying methods on DPPH free radical scavenging activity of *Boletus edulis*

风干燥和超声波前处理组 DPPH 自由基清除率最低。DPPH 自由基清除率大小与牛肝菌中多酚和黄酮的含量有一定的关系。

2.7 对牛肝菌还原力的影响

由图 8 可知,真空冷冻干燥牛肝菌具有最强的还原力,显著高于其他组($P < 0.05$)。热风干燥中,随着干燥温度的升高,牛肝菌还原力逐渐降低,80 °C 热风干燥牛肝菌的还原力显著低于 60,70 °C 热风干燥处理的($P < 0.05$)。超声波处理组的还原力最低,可能是超声波前处理干燥法的干燥速率最低,干燥时间最长,从而降低了牛肝菌的抗氧化活性。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

图 8 干燥方式对牛肝菌还原力的影响

Figure 8 Total reducing power of *Boletus edulis* processed by different drying methods

3 结论

本试验研究了热风干燥、真空冷冻干燥、微波结合热风干燥和超声波结合热风干燥等几种干燥方式对牛肝菌干燥速率及品质的影响。结果表明,真空冷冻干燥牛肝菌产品中的多酚、黄酮、多糖含量最高,且具有更高的抗氧化活性,其次是 60 °C 热风干燥,而微波和超声波预处理干燥效果并不理想,极大地破坏了牛肝菌的活性成分,降低了牛肝菌抗氧化活性。但真空冷冻干燥成本较高,综合牛肝菌品质及数据分析结果,采用 60 °C 热风干燥牛肝菌符合经济效益,更为合理。后期将研究不同干燥条件对牛肝菌多酚及黄酮组成的影响,以明确干燥条件影响其抗氧化活性作用的机理。

参考文献

[1] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 25-30.

[2] 兰瑛, 潘志福, 张松, 等. 尖顶羊肚菌胞外多糖提取物对果蝇寿命的影响[J]. 中国食用菌, 2010, 29(4): 43-45.

[3] 阚国仕, 矫丽曼, 杨玉红, 等. 牛肝菌胞外多糖体外抗氧化能力的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(2): 57-60.

[4] 侯玉艳. 牛肝菌多酚的提取及生物活性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015: 17-20.

[5] 崔福顺, 张华, 李官浩, 等. 美味牛肝菌黄酮类提取物体内抗氧化作用研究[J]. 食品科技, 2014, 39(8): 201-205.

[6] TSAI S Y, TSAI H L, MAU J L. Antioxidant properties of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea*, and *Boletus edulis*[J].

LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1392-1402.

[7] WANG Dong, SUN Shu-qing, WU Wei-zhen, et al. Characterization of a water-soluble polysaccharide from *Boletus edulis* and its antitumor and immunomodulatory activities on renal cancer in mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 105: 127-134.

[8] 郭永月. 黑牛肝菌多糖对小鼠酒精性肝损伤的保护作用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013: 15-19.

[9] 高伦江, 曾顺德, 李晶, 等. 热风微波联合干制对香菇品质及风味的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 80-83, 240.

[10] 刘云宏, 孙悦, 王乐颜, 等. 超声波强化热风干燥梨片的干燥特性[J]. 食品科学, 2015(9): 1-6.

[11] 李斌, 别玉, 张伟. 不同香菇干燥方式的干燥特性和干品品质对比研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 175-179.

[12] GALAZ P, VALDENEGRO M, RAMÍREZ C, et al. Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 208: 19-27.

[13] 丁胜华, 王蓉蓉, 李高阳, 等. 干燥温度对橙皮干燥动力学, 酚类物质及抗氧化特性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 137-144.

[14] 阙森琳, 蒋玉蓉, 曹美丽, 等. 响应面试验优化藜麦种子多酚提取工艺及其品种差异[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 7-12.

[15] 李文峰. 紫薯气体射流冲击干燥特性及对抗氧化成分的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2014: 40.

[16] 王金玺, 顾林, 孔凡伟, 等. 鸡腿菇粗多糖的体外抗氧化性[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 79-82.

[17] 马虎飞, 王思敏, 杨章民. 陕北野生枸杞多糖的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 60-63.

[18] BERKER K I, GÜÇLÜ K, TOR I, et al. Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method[J]. Food Analytical Methods, 2010, 3(3): 154-168.

[19] 吴昆明, 凌阿静, 胡新中, 等. 干燥方式对苦荞麦芽色泽, 多酚及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(11): 115-120.

[20] 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(5): 33-37.

[21] 王宏. 苹果渣中多酚物质的提取、分离及其抗氧化活性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 98-109.

[22] PAN Xue-jun, NIU Guo-guang, LIU Hui-zhou. Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2003, 42(2): 129-133.