

松茸的真空冷冻干燥特性研究

杨长平¹, 顾思远¹, 黄文刚¹, 孙俊秀², 范文教^{2*}
(1.四川旅游学院烹饪与食品实验管理中心, 成都 610100;
2.四川旅游学院食品学院, 成都 610100)

摘要: 新鲜松茸不耐贮藏、易发生变质腐烂。运用真空冷冻干燥技术可以最大限度地保持松茸的营养成分。以四川小金县新鲜松茸为原料, 进行真空冷冻干燥加工, 对物料水分变化数据进行全程监控, 分析松茸冷冻干燥的动态变化, 并对冻干松茸质构及营养指标进行测定, 研究松茸的真空冷冻干燥特性和真空冷冻干燥加工适宜性。试验表明, 松茸真空冷冻干燥过程可分为升华干燥和解析干燥2个阶段, 升华干燥持续时间较长, 干燥速率较为恒定, 松茸内部大部分水分在此阶段逸出。真空冷冻干燥对松茸的总酚、蛋白质和脂肪营养成分影响不大, 复水性能良好, 能够有效抑制美拉德反应的发生, 最大程度保留松茸的黄色度、降低红色度。

关键词: 松茸; 真空冷冻干燥; 特性

中图分类号: TS 219 文献标志码: A 文章编号: 1005-9989(2019)05-0043-04

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2019.05.010

Study on vacuum freeze-drying characteristics of *Tricholoma matsutake*

YANG Changping¹, GU Siyuan¹, HUANG Wengang¹, SUN Junxiu², FAN Wenjiao^{2*}

(1.Cooking and Food Experiment Management Center, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100; 2.College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100)

Abstract: Fresh *Tricholoma matsutake* are difficult to store and easy to rot. Vacuum freeze drying technology can effectively maintain nutrition of *Tricholoma matsutake*. Fresh *Tricholoma matsutake* from Sichuan Xiaojin county were used as raw materials, and dehydrated by vacuum freeze drying. The change of moisture, texture and nutrient of *Tricholoma matsutake* were analyzed during vacuum freeze drying. Results showed that the vacuum freeze-drying process of *Tricholoma matsutake* can be divided into two stages: sublimation drying and analytical drying. The sublimation drying has a longer duration and the drying rate is relatively constant. Most of the moisture of *Tricholoma matsutake* escapes at this stage. The experimental results also show that vacuum freeze-drying has little effect on the total phenolic, protein and fat nutrients of *Tricholoma matsutake*, and the rehydration performance is good. It can effectively inhibit the Maillard reaction and retain the yellowness and redness of *Tricholoma matsutake* to the maximum extent.

Key words: *Tricholoma matsutake*; vacuum freeze-drying; characteristic

收稿日期: 2018-11-05

*通信作者

基金项目: 四川省科技厅科技支撑项目(2015NZ0038); 四川省教育厅科研创新团队项目(15TD0033); 四川省教育厅重点项目(13ZA0141)。

作者简介: 杨长平(1977—), 男, 副教授, 研究方向为食品化学及食品营养。

松茸(*Tricholoma matsutake* Sing.), 又名松菌、松口蘑, 为担子菌纲伞菌目口蘑科口蘑属, 是松栎等树木外生的菌根真菌, 为亚洲地区的特有物种, 主要分布在中国、朝鲜半岛、日本等地区。松茸具有独特的浓郁香味, 肉质鲜美, 有很高的营养价值和药用价值^[1]。现代医学表明, 松茸富含蛋白质, 以及18种氨基酸、14种人体必需微量元素、49种活性营养物质、5种不饱和脂肪酸, 另有双链松茸多糖、松茸多肽和松茸醇等多种珍稀物质, 具有抗肿瘤、抗氧化、降糖、抑制癌细胞增殖等作用^[2]。

中国是松茸的主要出口国, 每年出口大量的优质松茸到欧洲和日本制成深加工产品^[3]。西南地区作为中国松茸主产区, 因产茸品质最好, 每年出口供不应求。但是由于新鲜松茸不耐贮藏、易发生变质腐烂, 且由于产地的交通、科技等客观因素的局限, 严重制约了松茸产业的纵深发展^[4]。本文以四川小金县新鲜松茸为原料, 进行真空冷冻干燥加工, 对物料水分变化数据进行全程监控, 分析松茸冷冻干燥的动态变化, 并对冻干松茸产品的质构及营养指标进行测定, 研究松茸的真空冷冻干燥特性和真空冷冻干燥加工适宜性。研究结果可为松茸产品的真空冷冻加工工艺、产品货架期预测、贮藏运输等提供参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜松茸: 成都山幸农产品有限责任公司, 四川阿坝州小金县; 葡萄糖、氢氧化钠、没食子酸、草酸溶液、抗坏血酸: 分析纯, 成都科龙化工试剂厂。

1.2 实验仪器

真空冷冻干燥机(冻干机): 北京松原华兴科技发展有限公司; 30B型万能高效粉碎机: 常州恒诚富士特干燥设备有限公司; CR2200型色差仪: 上海君翼仪器设备有限公司; TMS-PRO型质构仪: 美国FTC公司; AUW220D电子天平(精度为0.1 mg): 日本岛津公司; WP-UP-UV-20纯水机: 四川沃特尔科技发展有限公司。

1.3 真空冷冻干燥

取新鲜松茸洗净, 沥水5 min后切片均匀放置在托盘中, 将松茸置于-35 ℃冰箱中速冻8 h。然

后, 在干燥温度25 ℃、真空度70 Pa条件下, 真空升华干燥3 h, 测定干燥后松茸相关指标。

1.4 理化指标的测定

试验分别测定了松茸的蛋白质、脂肪、总糖和总酚等4个理化指标。其中, 总酚采用酒石酸亚铁法^[5], 其余指标测定方法均依照国家标准^[6-8]。

1.5 含水率与复水性的测定

松茸的含水率计算公式:

$$W(\%) = ((m_3 - m_1) / m_3) \times 100$$

式中: W 为松茸含水率, %;

m_3 为真空冷冻干燥前的松茸质量, g;

m_1 为真空冷冻干燥后松茸的质量, g。

松茸复水性指新鲜松茸真空冷冻干制后吸水恢复原来新鲜程度的能力, 计算公式为:

$$y(\%) = (m_2(1 - x_1) / (m_1(1 - x_2))) \times 100$$

式中: y 为松茸复水率, %;

m_1 为真空冷冻干燥松茸复水前的质量, g;

m_2 为真空冷冻干燥松茸复水1 min后的质量, g;

x_1 为新鲜松茸的含水率, %;

x_2 为真空冷冻干燥后松茸的含水率, %。

1.6 干燥速率的测定

松茸的干燥速率计算公式为:

$$N = \Delta W_t / \Delta t$$

式中: N 为松茸的干燥速率, %/min;

ΔW_t 为松茸在 Δt 时间内含水率的变化, %;

Δt 为时间间隔, min。

1.7 质构指标的测定

试验采用美国FTC公司TMS-PRO型高精度专业食品物性分析仪对样品进行测试, 利用单刀剪切探头模拟人的咀嚼效果, 对冻干松茸进行剪切试验并绘制质构曲线。选择TPA测试程序, 测定条件为: 测试速度为1 mm/s; 压缩比例为60%; 最小感应力为0.375 N, 每个样品平行测定3次, 取平均值^[9]。

1.8 色差的测定

使用日本MINOLTA公司的CR2200型色差仪, 以标准白板标定。测定CIE-L*a*b*表色系中的明度L*、红度a*和黄度b*, 每株色泽读取8个随机点, 剔除最大值和最小值, 取平均值。



2 结果与讨论

2.1 真空冷冻干燥对松茸功能营养成分的影响分析

干燥加工能较好地保留松茸原有的营养成分及功效成分。从表1可以看出,真空冷冻干燥对松茸的总酚、蛋白质和脂肪营养成分影响不大,能够较好地保存松茸的营养成分。在松茸总糖方面,鲜松茸的总糖含量为13.68 g/100 g dw,真空冷冻干燥后总糖含量为21.26 g/100 g dw。真空冷冻干燥后松茸总糖有所增加,可能源于松茸切片过程中发生氧化反应造成,也有可能是干燥提温加速淀粉类物质转化为可溶性糖类物质;多酚类活性物质含量的降低有可能源于温度变化促进酚类物质的前体发生非酶转化。石芳等^[10]在研究不同干燥方式对松茸功能营养成分的影响时发现,真空冷冻干燥较热风干燥和微波干燥对松茸功能营养成分的损伤小,其中真空冷冻干燥松茸中蛋白质、脂肪、总糖含量均增加,但是松茸多酚含量显著下降。

表1 真空冷冻干燥对松茸功能营养成分的影响

干燥工艺	松茸总酚/(mg GAE/g dw)	松茸总糖/(g/100 g dw)	蛋白质/(g/100 g dw)	脂肪/(g/100 g dw)
真空冷冻	4.28	21.26	25.65	3.68
鲜松茸	5.35	13.68	23.86	3.02

2.2 真空冷冻干燥松茸质构特性分析

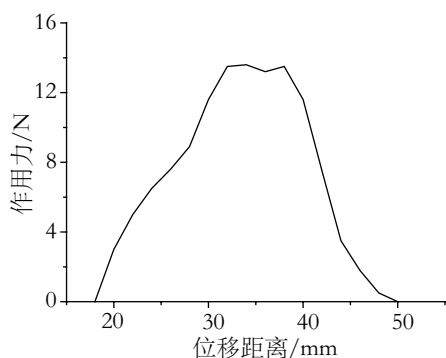


图1 真空冷冻干燥松茸的质构曲线

真空冷冻干燥松茸断裂时的作用力和位移间的曲线如图1所示。可以看出,松茸经过真空冷冻干燥后其质构曲线平滑,峰面积较为宽大,最大断裂力13.6 N,在整个剪切过程没有出现明显的断裂峰。同时可以看出,位移距离32~38 mm的断裂力均在13 N以上,表明松茸冻干后整体组织

绵软,不易断裂,有较强的黏滞作用。陈鑫等^[11]在研究真空冷冻干燥对姬松茸质构特性的影响中发现,真空干燥后姬松茸的组织结构并未塌陷,仍能保持良好的网状结构,其整体组织较热风干燥表现出较强的黏滞作用,不易断裂。

2.3 松茸真空冷冻干燥过程解析

根据松茸真空冷冻干燥过程中的含水率及干燥速率变化情况,得到松茸的动态干燥曲线,如图2所示。

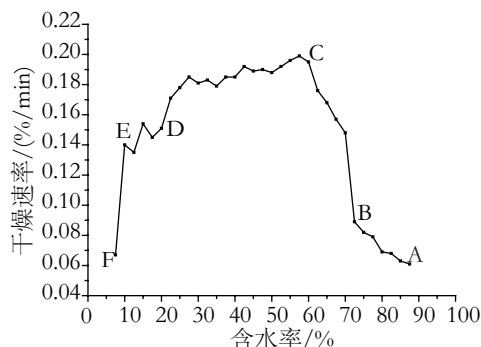


图2 真空冷冻干燥松茸的干燥速率随含水率变化曲线

从图2可以解析出松茸真空冷冻干燥过程。首先,随着冷冻的开始,在-35℃的环境下速冻,此时松茸水分主要是液态到固态的转化,因此含水率虽逐渐减低,但是趋势较为缓慢,整个干燥过程也呈现出缓慢态势(A点到B点);随着真空干燥的开始,松茸干燥从冻层表面开始,干燥初期松茸受到的传热和传质阻力,干燥速率提升非常迅速,在单位含水率降低范围内从0.082直接提升到0.148,提升率达到80.5%;随着干燥过程从松茸表面深入到内部,其传热和传质阻力逐渐增大,整个升华干燥逐渐趋缓,直至达到动态饱和(B点到C点)。应该说,这一阶段是整个真空冷冻干燥过程的起始阶段。随着松茸干燥达到动态饱和,干燥过程出现较为明显的恒速干燥阶段(C点到D点),在这一阶段,干燥速率区间在0.17~0.19 %/min,维持在较高水平上,且持续较长时间,但其变化幅度不大。应该说,这一阶段是整个真空冷冻干燥过程的关键阶段,其持续时间和干燥速率,都与整个干燥效果呈现非常显著的相关性。

在松茸真空干燥的后期,随着水分的持续升华,干燥速率出现短暂的波动(D点到E点),此时干燥速率较恒速干燥阶段有所降低,但是仍然维持在较高水平,其干燥速率区间为0.14~0.16 %/min。

min。从E点之后,随着松茸内部水晶全部升华成水蒸气,干燥速率急剧下降,松茸含水率基本稳定,干燥过程逐渐趋于尾声直至结束。

2.4 真空冷冻干燥松茸复水性分析

松茸的复水性主要取决于松茸内部细胞和结构的破坏程度。在真空干燥过程中,松茸内部细胞发生了不可逆转的破坏和错位,导致其完整性丧失,特别是细胞背部的毛细管收缩以及组织结构塌陷,导致质地结构的变化,从而降低亲水性能^[12]。试验测得真空冷冻干燥松茸复水前和真空冷冻干燥松茸复水1 min后的质量及其含水率,根据1.5中公式得出真空冻干松茸的复水率为63.22%,说明前期的速冻能够减少松茸内部大冰晶的形成,从而降低细胞膜的破坏程度,因此冻干松茸表现出较高的复水,表明具有良好的复水性能。赵凤敏等^[13]在研究真空冷冻干燥技术对常见浆果复水性的影响时发现,猕猴桃和香蕉的复水率可达到70%以上,显示出该技术处理的产品复水性能极佳。

2.5 真空冷冻干燥松茸色差值变化分析

颜色是真空冷冻干燥后影响松茸品质的重要属性之一。表2为松茸干燥前后的色差值变化。从表2可以看出,经过真空冷冻干燥后,松茸的 L^* 、 a^* 、 b^* 都有所降低,这是由于在干燥过程中松茸发生褐变造成。石芳等^[9]在研究不同干燥方式对松茸品质的影响发现,松茸真空冷冻干燥较微波真空干燥和热风干燥的褐变情况最轻,其 L^* 值、 a^* 、 b^* 分别降低了5.2%、61.67%和24.35%。从表2数据可以得出,真空冷冻干燥后松茸 L^* 、 a^* 、 b^* 分别降低了4.90%、53.65%和17.78%,说明真空干燥因在较低温度和真空环境下的双重作用,能够有效抑制美拉德反应的发生,最大程度保留了松茸的黄色度、降低了松茸的红色度。

表2 真空冷冻干燥对松茸色差值的影响

干燥工艺	参数		
	L^*	a^*	b^*
真空冷冻	39.54	7.68	23.58
鲜松茸	41.56	16.57	28.68

3 结论

松茸真空冷冻干燥过程可分为升华干燥和解析干燥2个阶段,升华干燥持续时间较长,干燥速率较为恒定,松茸内部大部分水分在此阶段逸出。真空冷冻干燥对松茸的总酚、蛋白质和脂肪营养成分影响不大,复水性能良好,复水率为63.22%,能够有效抑制美拉德反应的发生,最大程度保留了松茸的黄色度、降低了松茸的红色度。

参考文献:

- [1] 刘培贵,袁明生,王向华,等.松茸群生物资源及其合理利用与有效保护[J].自然资源学报,1999,14(3):245-252.
- [2] Cho I H, Choi H K, Kim Y S. Difference in the volatile composition of pine-mushrooms (*Tricholoma matsutake* Sing.) according to their grades[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2006,54(13):4820-4825.
- [3] 方明,李玉,姚方杰,等.松茸研究概况[J].中国食用菌,2005,24(6):12-15.
- [4] 陈光丽,周德群,杨永平,等.云南松茸产区出菇及其气象因子分析[J].植物分类与资源学报,2011,33(5):547-555.
- [5] 王辉军,徐奕鼎,黄建琴,等.酒石酸亚铁比色法和高锰酸钾滴定法测定茶多酚的比较[J].茶业通报,2010,(2):61-63.
- [6] 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社.
- [7] 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:中国标准出版社.
- [8] 食品安全国家标准 食品中总糖的测定:GB/T 15038—2006[S].北京:中国标准出版社.
- [9] 石芳,廖霞,李福香.基于低场核磁共振技术研究冻融过程中松茸品质的变化[J].食品与发酵工业,44(7):87-95.
- [10] 石芳,李瑶,杨雅轩,等.不同干燥方式对松茸品质的影响[J].食品科学,2018,(5):022.
- [11] 陈鑫.不同干燥方法对姬松茸干品品质特性的研究[D].福州:福建农林大学,2008.
- [12] Li Q, Zhang L, Li W, et al. Chemical compositions and volatile compounds of *Tricholoma matsutake* from different geographical areas at different stages of maturity[J]. Food science and biotechnology,2016, 25(1):71-77.
- [13] 赵凤敏,李树君,张小燕,等.常见浆果的真空冷冻干燥特性研究[J].现代食品科技,2014,30(4):220-225.