

# 不同干燥方法对非硫护色后杏鲍菇干制产品品质的影响

张苗青<sup>1,2</sup>, 程菲儿<sup>1</sup>, 常明昌<sup>1</sup>, 孟俊龙<sup>1</sup>, 刘靖宇<sup>1</sup>, 冯翠萍<sup>1</sup>

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801)

(2. 山西省太谷县市场和质量技术监督局(太谷县质量技术监督检验测试所), 山西太谷 030800)

**摘要:** 杏鲍菇在干燥过程中存在褐变问题, 严重影响产品的感官品质, 且不同的干燥方法对产品的品质影响不同。新鲜杏鲍菇经非硫护色后, 采用热风、远红外和真空冷冻干燥三种方法进行干制, 测定其复水率、质构特性、褐变相关酶活性、细胞微观结构以及挥发性成分。结果表明, 护色处理后三种干燥方法对干制品色泽影响差异不显著。真空冷冻干燥后杏鲍菇复水时间比其他两种方法短, 为 2 min。与热风干燥相比, 远红外干燥后杏鲍菇 PPO 活性极显著升高 ( $p < 0.01$ ), 其余指标差异均不显著; 而真空冷冻干燥 SOD、CAT、PPO 和 POD 活性、黏度升高, 硬度、弹性、咀嚼性下降, 差异均极显著 ( $p < 0.01$ )。细胞微观结构观察发现, 三种干燥方法均可引起细胞变形, 真空冷冻干燥影响最小。因此, 综合分析认为护色处理后进行真空冷冻干燥对杏鲍菇质量影响相对较小。

**关键词:** 杏鲍菇; 干燥方法; 复水率; 质构特性; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2017)12-162-169

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.025

## Effects of Different Drying Methods on the Quality of *Pleurotus eryngii*

### Dried Product after Non-Sulfite Color Protection

ZHANG Miao-qing<sup>1,2</sup>, CHENG Fei-er<sup>1</sup>, CHANG Ming-chang<sup>1</sup>, MENG Jun-long<sup>1</sup>, LIU Jing-yu<sup>1</sup>, FENG Cui-ping<sup>1</sup>

(1. Shanxi Agriculture University College of Food Science and Engineering, Taigu 030801, China)

(2. Market and Quality Supervision Bureau of Taigu County (Inspection Institution of Quality and Technology Supervision of Taigu County), Taigu 030800, China)

**Abstract:** Browning problems occurred during the drying process of *Pleurotus eryngii*, and seriously affected the sensory quality of products. Different Three drying methods of hot air, far infrared and vacuum freeze were used for fresh *Pleurotus eryngii* after non-sulfur color protection. The results showed no significant difference among the three drying methods on the color of dried products after the treatment of color protection. Rehydration time of *Pleurotus eryngii* after vacuum freeze-drying was shorter than the other two methods, 2 min. Compared with the hot air-drying, PPO activity of *Pleurotus eryngii* significantly increased ( $p < 0.01$ ) after the far infrared-drying, and other indexes were not significant. The activities of SOD, CAT, PPO, POD and the viscosity increased significantly after the vacuum freeze-drying ( $p < 0.01$ ), and the hardness, elasticity and chewiness decreased with significant differences ( $p < 0.01$ ). The results of cell microstructure showed that three drying methods induced the cell deformation and the vacuum freeze-drying exhibited least influence. Consequently, the vacuum freeze-drying method had little influence on the quality of *Pleurotus eryngii* after color protection.

**Key words:** *Pleurotus eryngii*; drying method; rehydration rate; texture characteristics; volatile components

杏鲍菇 (*Pleurotus eryngii*), 别称鲍鱼菇, 也可将其称作雪茸。它的原产地位于欧洲南部、北非以及亚州中部, 我国的杏鲍菇栽培开始于 20 世纪 90 年代后

收稿日期: 2017-07-05

基金项目: 山西省重点研发计划(重点)项目(201603D211201); 山西省煤基重点科技攻关项目(FT2014-03-01); 山西省黄土高原食用菌提质增效协同创新中心资助

作者简介: 张苗青(1989-)男, 初级工程师, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 冯翠萍(1970-)女, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与安全

期由欧洲引进。杏鲍菇兼有鲍鱼和杏仁的香味, 口感、味道较佳<sup>[1,2]</sup>。杏鲍菇富含蛋白质、碳水化合物和矿物质等营养物质, 以及多糖和三萜类化合物等活性成分, 具有降血糖、降血脂、预防癌症<sup>[3]</sup>、提高免疫力<sup>[4]</sup>、抗氧化<sup>[5]</sup>、抑菌<sup>[6]</sup>、抗疲劳<sup>[7]</sup>和抗衰老等功能<sup>[8]</sup>。

新鲜的杏鲍菇由于含水量较高, 易发生褐变和萎蔫, 从而导致其商品价值降低、缩短了产品货架期; 其次由于杏鲍菇工厂化栽培技术成熟, 发展快, 产量高, 而导致近几年价格低, 严重影响了企业的生存和

杏鲍菇产业的发展,因此,亟需进行杏鲍菇深加工,以延长其产业链。干制是最常见的一种加工方法,食用菌干制就是为了降低含水量,令微生物无法生存,同时提高可溶性固形物含量,抑制部分酶活,达到延长贮存期的目的,提高商品价值。干制方法主要有日晒、热风干燥、红外线干燥、微波干燥和真空冷冻干燥等,不同的干燥方法对产品影响不同。邢淑婕等<sup>[9]</sup>研究了微波真空、真空冷冻、热风干燥3种方法对杏鲍菇品质的影响,结果认为微波真空干燥法其结果指标较佳。而目前的实际生产中常用的干制方法主要是日晒或热风干燥,关于护色后进行干制鲜有应用,因此,本试验主要研究不同干燥方式对非硫护色后杏鲍菇干制品复水性、成分、细胞结构、褐变相关酶和质构等的影响,筛选出适合的干燥方法,为企业加工相关产品提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试验材料

杏鲍菇,山西洪洞县舜晨科技发展有限公司。

#### 1.1.2 主要试剂

SOD、CAT、PPO、POD 酶活性测定试剂盒,购自上海酶联生物科技有限公司;聚四氟乙烯,购自中山市华益塑料材料有限公司;戊二醛、钼酸、乙醇和丙酮等试剂均为分析纯。

#### 1.1.3 主要仪器及设备

TC-P2A 全自动测色色差计;电热恒温鼓风干燥箱;远红外快速恒温干燥箱;PL3000 型真空冷冻干燥机;GC-MS 7890A 型气相色谱-质谱联用仪;SPME 型手动进样手柄;PDMS/DVB 型 75  $\mu\text{m}$  萃取头;JEM-1400 透射电镜;JSM-6490LV 扫描电镜。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 护色处理

根据课题组前期研究结果,采用如下非硫护色剂:柠檬酸浓度 0.3%,氯化钠浓度 1.03%,维生素 C 浓度为 0.31%,EDTA-2Na 浓度为 0.15%。

#### 1.2.2 不同干燥方法对杏鲍菇的处理

取最佳护色后杏鲍菇切片 40 g,分三组平铺于干燥筛上。热风干燥条件:35  $^{\circ}\text{C}$  起始,每 30 min 温度升高 5  $^{\circ}\text{C}$  直至 60~65  $^{\circ}\text{C}$  后保持到干燥结束;远红外干燥条件:置于 50  $^{\circ}\text{C}$  恒温下干燥;真空冷冻干燥条件:冰箱中冷冻 12 h (-20  $^{\circ}\text{C}$ ) 后取出,置于冷冻干燥机

腔体内(提前 5 min~10 min 打开冷冻机,抽真空至 1.5 hPa,冷阱温度-50  $^{\circ}\text{C}$ ),干燥后进行指标测定。

#### 1.2.3 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品色泽的影响

用色差仪对非硫护色前后的干燥样品  $L^*$  值进行测定。

#### 1.2.4 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品对复水率的影响

复水温度 50  $^{\circ}\text{C}$ ,若 2 次重量差不超过  $\pm 1$  g 表明复水完成。

复水率=复水后杏鲍菇质量/鲜杏鲍菇质量 $\times 100\%$

#### 1.2.5 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品质构品质的影响

采用质构仪所配备的 6 mm 圆柱形探头,进行质构特性测定,重复三次。对照组为新鲜杏鲍菇。

#### 1.2.6 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品褐变相关酶的影响

##### 1.2.6.1 样品处理

取样品 5 g 于研钵内,加入少量石英砂和预先冷却磷酸盐缓冲液(pH 7.0, 0.1 mol/L),在冰盒上研磨成浆并多次浸提,定容至 25 mL,取浸提液于 3000 r/min 离心 10 min,上清液置于 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱中备用,用于酶的测定。对照组为新鲜杏鲍菇。

##### 1.2.6.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定

参照 SOD 试剂盒说明书进行测定,计算方式见公式(1)。

##### 1.2.6.3 过氧化氢酶(CAT)活性测定

参照 CAT 试剂盒说明书进行测定,计算方式见公式(2)。

##### 1.2.6.4 多酚氧化酶(PPO)活性测定

参照 PPO 试剂盒说明书进行测定参照 CAT 试剂盒说明书进行测定,计算方式见公式(3)。

##### 1.2.6.5 过氧化物酶(POD)活性测定

参照 POD 试剂盒说明书进行测定,计算方式见公式(4)。

#### 1.2.7 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品结构的影响

##### 1.2.7.1 表面结构

在样品中加入戊二醛溶液(2.5%),4  $^{\circ}\text{C}$  固定过夜。磷酸缓冲液漂洗三次(0.1 mol/L、pH 7.0、15 min),钼酸溶液固定(1%、2 h),不同浓度的乙醇溶液(30%、50%、70%、80%、90%、95%和 100%)进行梯度脱水,干燥,直至脱水剂挥发完全,喷金,厚约 3~30 nm,通过 JSM-6490LV 扫描电镜观察杏鲍菇表面结构。

$$\text{总SOD活力} = \frac{\text{对照OD值} - \text{测定OD值}}{\text{对照OD值}} \div 50\% \times \frac{V_{\text{反应}}}{V_{\text{样总}}} \div \text{匀浆液浓度} \quad (1)$$

式中,  $V_{\text{反应}}$ : 反应液总体积;  $V_{\text{样}}$ : 取样量。

$$\text{CAT活力} = (\text{对照OD值} - \text{测定OD值}) \times 271 * \times \frac{1}{60 \times V_{\text{样}}} \div \text{待测样本蛋白浓度} \quad (2)$$

式中,  $V_{\text{样}}$ : 取样量; \*: 271 为斜率的倒数。

$$\text{PPO活力} = \frac{\Delta A \times V_{\text{反应}}}{W \times V_{\text{样}} \div V_{\text{样总}}} \div 0.01 \div T \quad (3)$$

式中,  $V_{\text{反应}}$ : 反应体系总体积;  $V_{\text{样}}$ : 加入样本体积;  $V_{\text{样总}}$ : 加入提取液体积;  $T$ : 反应时间。

$$\text{POD活力} = \frac{\text{测定OD值} - \text{对照OD值}}{12 \times \text{比色光镜 (1cm)}} \times \frac{V_{\text{反应}}}{V_{\text{样}}} \div T_{\text{反}} \div \text{匀浆蛋白浓度} \times 1000 \quad (4)$$

式中,  $V_{\text{反应}}$ : 反应液总体积;  $V_{\text{样}}$ : 取样量;  $T_{\text{反}}$ : 反应时间。

## 1.2.7 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品结构的影响

### 1.2.7.1 表面结构

在样品中加入戊二醛溶液(2.5%), 4 °C 固定过夜。磷酸缓冲液漂洗三次 (0.1 mol/L、pH 7.0、15 min), 钨酸溶液固定(1%、2 h), 不同浓度的乙醇溶液(30%、50%、70%、80%、90%、95%和 100%) 进行梯度脱水, 干燥, 直至脱水剂挥发完全, 喷金, 厚约 3~30 nm, 通过 JSM-6490LV 扫描电镜观察杏鲍菇表面结构。

### 1.2.7.2 内部结构

参照 1.2.7.1 方法梯度脱水后, 环氧丙烷 15 min 过渡两次。开盖震荡处理样品 2 h (环氧丙烷与包埋剂比例为 3:1), 纯包埋剂渗透包埋。预热干燥箱, 37 °C 聚合 12 h 就获得包埋好的样品。在 Reichert 超薄切片机中进行切片 (70~90 nm), 染色, 透射电镜观察杏鲍菇的内部结构。

## 1.2.8 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品挥发性物质的影响

取样品各 1.5 g 分别放入 50 mL 螺口样品瓶中, 加入 12 mL 去离子水和 3 g NaCl, 密封时采用聚四氟乙烯隔垫, 在磁力搅拌器中进行水浴平衡 (60 °C、10 min)。用萃取头顶空吸附 40 min 后, 将萃取头插入 GC 进样, 解析 5 min。

### 1.2.9 数据统计分析

所有数据均使用中科院 prism 软件进行数据处理与分析; 挥发性成分数据处理采用 NIST08 数据库检索定性, 对各组分进行同一积分-参数峰面积-归一法定量分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品复水率的影响

采用不同干燥方法脱水后, 复水率曲线如图 1 所示。由图 1 可以看出, 2 min 时, 真空冷冻干燥处理组便基本达到最大复水率, 另外两组则需要 90 min 才能达到最大复水率, 不同的干燥方式及干燥工艺参数<sup>[10,11]</sup>都会影响复水率。真空冷冻干燥处理使切片内部通过升华失去水分, 致使细胞间隙变大、组织多孔, 因此能够迅速复水, 且复水后最为接近新鲜杏鲍菇。

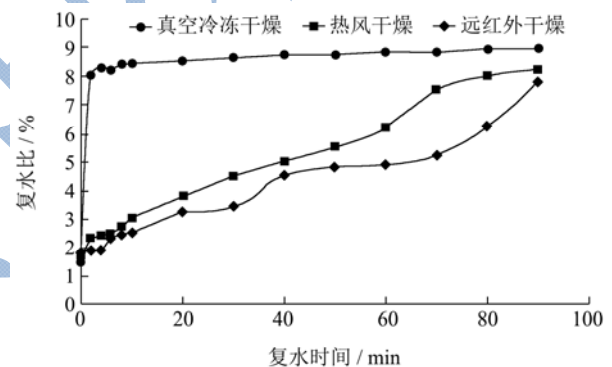


图 1 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品复水率的影响  
Fig.1 Effects of different drying methods on rehydration rate of *Peryngii* after color protection

### 2.2 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品质构特性的影响

与热风干燥相比, 远红外干燥样品复水后粘性、弹性下降, 硬度、咀嚼性升高, 但差异均不显著; 真空冷冻干燥粘附性升高, 其余指标均下降, 差异均极显著 ( $p < 0.01$ )。由于真空冷冻干燥使得干制品组织结构疏松, 造成硬度小, 黏度大; 由于热风干燥、远红外干燥使制品组织结构收缩, 细胞间排列变紧密、甚至黏连, 造成其硬度高、弹性、咀嚼性大。另外, 有试验表明杏鲍菇中存在漆酶可催化多种底物<sup>[12]</sup>。漆酶具有降解木质素的作用, 可能与杏鲍菇硬度降低有关, 真空冷冻干燥能最大限度地保持漆酶活力。

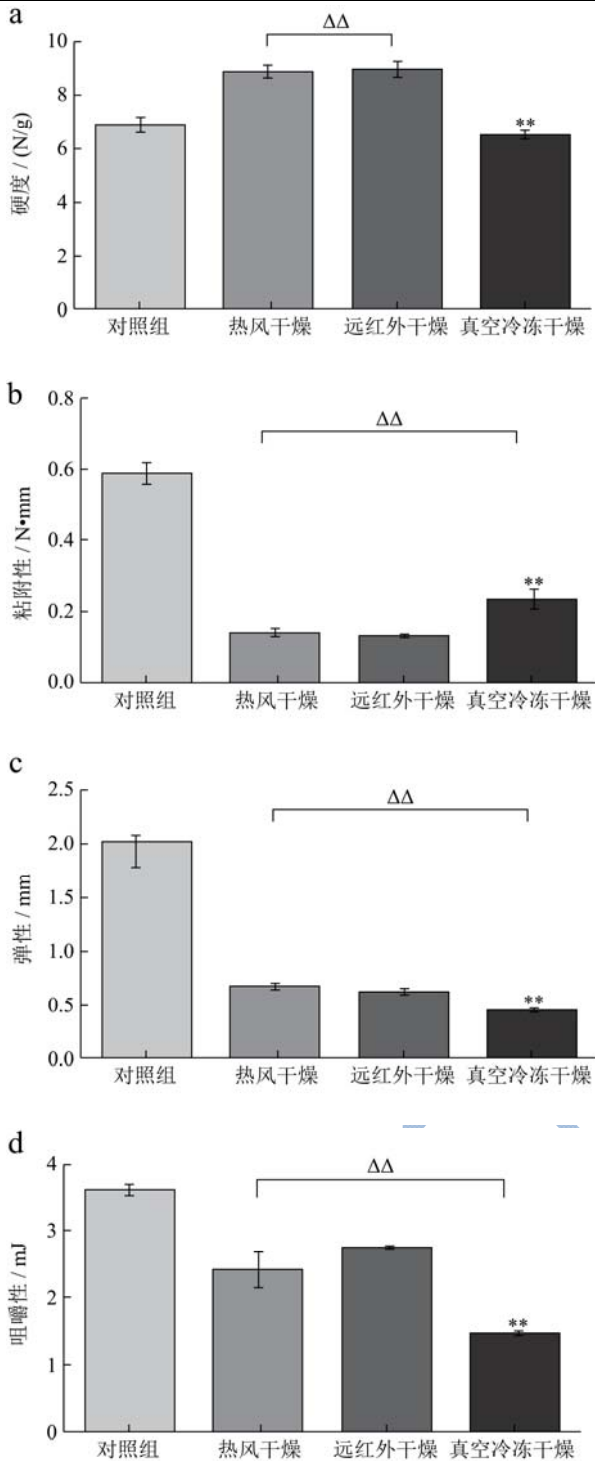


图2 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品质构的影响

Fig.2 Effects of different drying methods on texture characteristics of *Peryngii* after color protection

注: 与对照组相比, <sup>Δ</sup> $p < 0.05$ , <sup>ΔΔ</sup> $p < 0.01$ ; 与热风干燥组相比, <sup>\*</sup> $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup> $p < 0.01$ 。

### 2.3 不同干燥方法对护色后杏鲍菇干制产品

褐变相关酶活性的影响

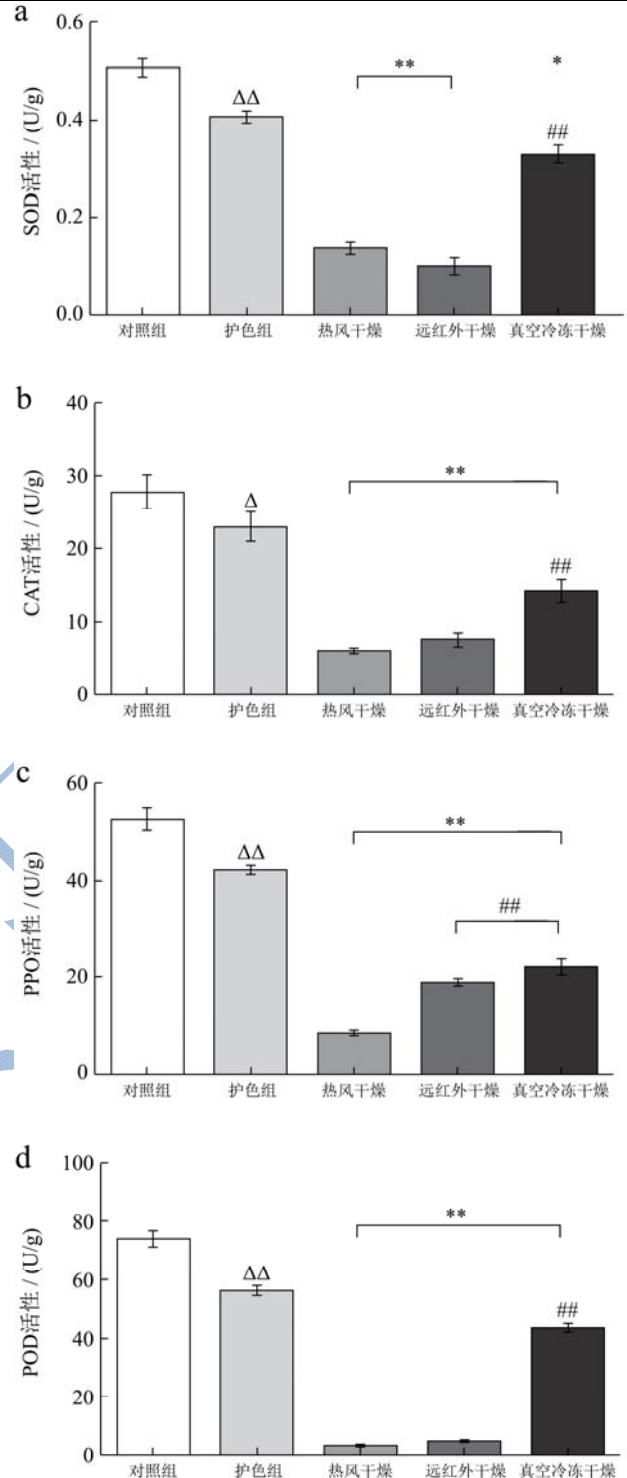


图3 不同干燥方法对对护色后杏鲍菇干制产品褐变相关酶活性的影响

Fig.3 Effects of different drying methods on browning enzyme activities of *Peryngii* after color protection

注: 与对照组相比, <sup>Δ</sup> $p < 0.05$ , <sup>ΔΔ</sup> $p < 0.01$ ; 与护色组相比, <sup>\*</sup> $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup> $p < 0.01$ ; 与热风干燥组相比, <sup>#</sup> $p < 0.05$ , <sup>##</sup> $p < 0.01$ 。

与热风干燥相比, 远红外干燥 SOD、CAT、POD 活性变化差异不显著, PPO 活性极显著升高 ( $p < 0.01$ );

真空冷冻干燥 SOD、CAT、PPO 和 POD 活性均极显著升高 ( $p < 0.01$ )。在干制过程中,酶的活性变化与植物组织褐变联系密切<sup>[13]</sup>。与其它类型 SOD 相比,杏鲍菇 SOD 属于耐温型,其热稳定性高,经热风及远红外处理后的杏鲍菇仍保持一定活性。除此之外,杏鲍菇内海藻糖含量较高<sup>[14]</sup>,可能对 SOD 产生激活和保护作用。SOD 和 CAT 活性的不协调可能导致  $H_2O_2$  积累<sup>[15]</sup>。CAT 会在  $H_2O_2$  浓度较高时产生作用,使  $H_2O_2$  分解;  $H_2O_2$  浓度相对较低时,POD 在氧化相应基质,例如酚类及其化合物存在时可将其消化。细胞内的酶促褐变常常与过氧化作用的增强有关,POD 活性上升也反映了细胞内过氧化作用的增强。植物组织中的酶促褐变,常以 PPO 引起的最为明显。本试验的复合非硫护色剂中含有柠檬酸,它具有还原性,能与有关物质反应降低黑色素形成条件; PPO 中含铜离子,可与柠檬酸螯合导致 PPO 活力降低。真空冷冻干燥处理下的样品,冻结与否、冻结区域大小、溶质浓度均受到冻结速度的影响(速度快冰晶小,速度慢冰晶大),从而影响到酶的活力;杏鲍菇在  $-35\text{ }^\circ\text{C}$  缓冻时,会产生较大粒的冰晶体,推测冰晶体会对线粒体和溶酶体等亚细胞器膜产生损害,从而释放出结合态的酶,造成其 PPO 和 POD 活性下降,该推测有待进一步的研究。

#### 2.4 不同干燥方法对杏鲍菇微观结构的影响

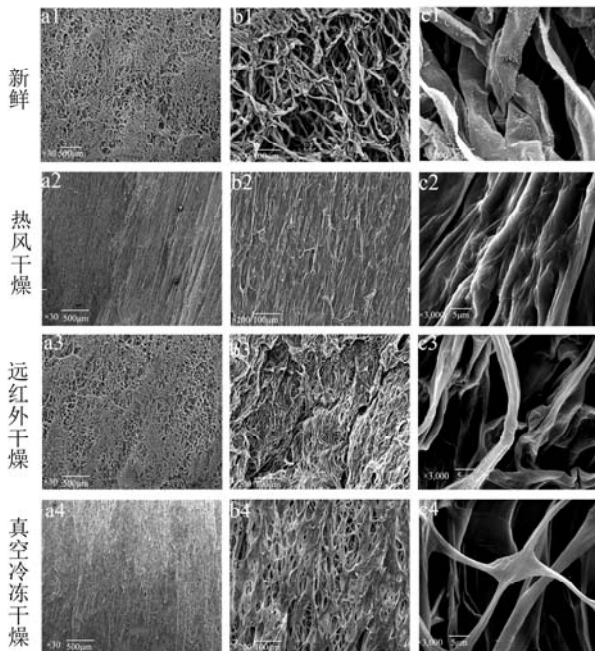


图4 不同干燥方法干燥后杏鲍菇 TEM 电镜图

Fig.4 TEM images of *Peryngü* based on different drying methods

注: a<sub>1</sub>~a<sub>4</sub>, 30 倍视图; b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>, 200 倍视图; c<sub>1</sub>~c<sub>4</sub>, 3000 倍视图。

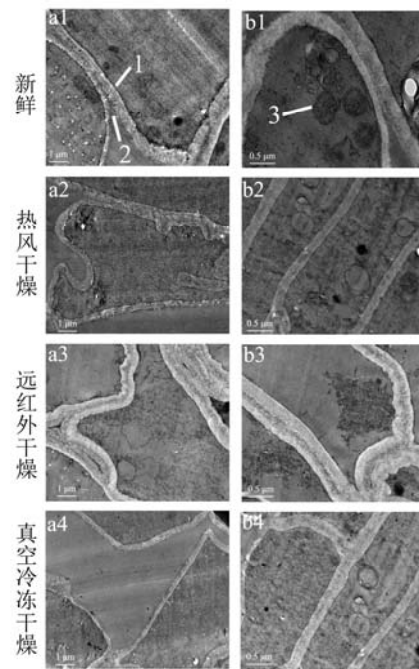


图5 不同干燥方法干燥后杏鲍菇 SEM 电镜图

Fig.5 SEM images of *Peryngü* based on different drying methods

注: a<sub>1</sub>~a<sub>4</sub>, 1  $\mu\text{m}$  视图; b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>, 0.5  $\mu\text{m}$  视图 (1-细胞壁、2-细胞间隙、3-液泡)。

对细胞微观结构观察发现,远红外干燥后细胞明显变形,热风干燥次之,真空冷冻干燥后的细胞变形较小。新鲜的杏鲍菇切片子实体的含水量高,组织幼嫩,因此电镜下看到其组织结构排列自然,细胞形态丰满,细胞质含量多,膜泡结构分布均匀,细胞器活跃。不同处理情况下组织结构出现不同程度上的变形、粘连和缠绕,推测造成的原因可能是由于热风、远红外干燥的较高温度导致细胞由内向外快速失水,水分迁移影响了膜、壁结构;另一方面,高温使细胞壁之间的果胶层厚度增加,弹性降低纤维木质化严重皱缩明显。真空冷冻干燥由于水分升华,从而保护了其纤维结构框架,造成干制品结构松散、细胞质含量减少等现象。

#### 2.5 不同干燥方法对对护色后杏鲍菇干制产品挥发性成分的影响

总离子流色谱结果如图 6,挥发性成分结果如表 1。

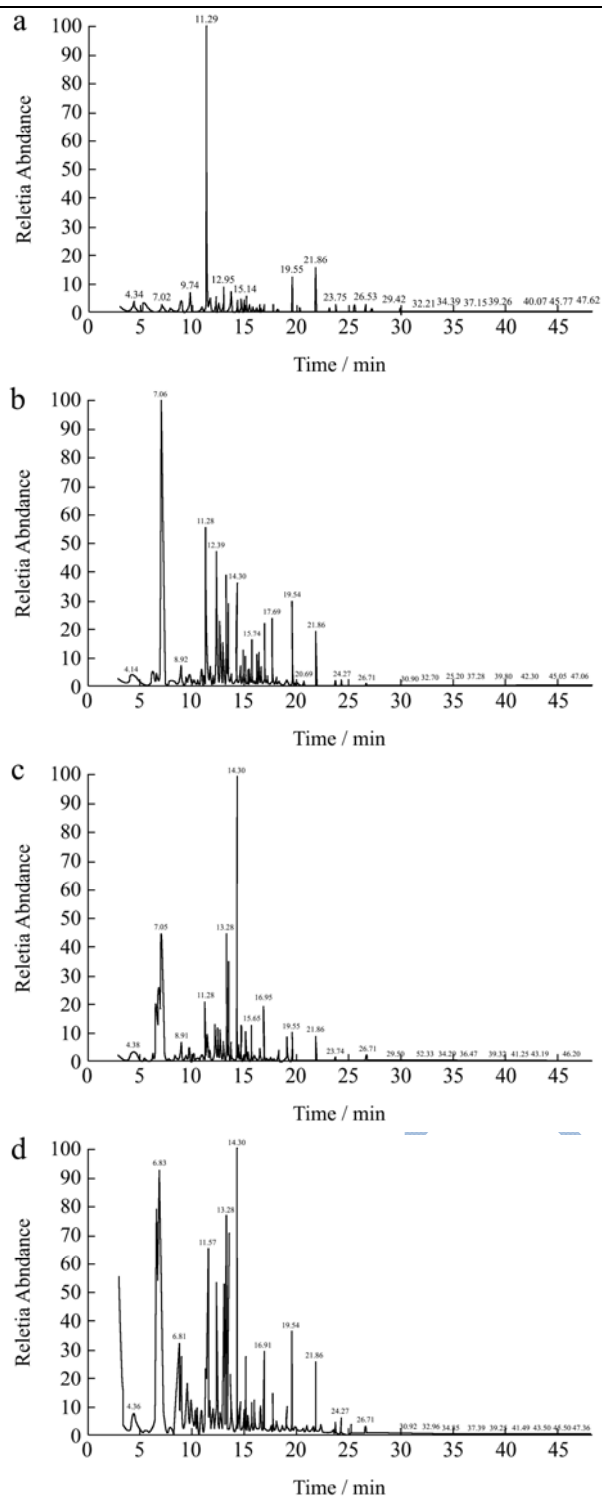


图6 杏鲍菇挥发性成分总离子流图

Fig.6 Ion flow diagrams of volatile components from *P. eryngii*

由表1可知,与新鲜杏鲍菇子实体相比,醛类物质除己醛、反式-2-辛烯醛、椰子醛含量极显著上升( $p < 0.01$ )外其余醛类均极显著下降( $p < 0.01$ ),甚至消失。醛类物质对产品风味影响较大是因为醛类物质风味阈值相对较低。在产品加工过程中,该类物质的种类有所减少,可能与亚油酸和油酸的氧化有关<sup>[16]</sup>;但在成品中检测到己醛、辛醛等含量较高,可能与干燥过程中苯甲醛含量显著下降有关<sup>[17]</sup>;其总体含量较对照组有小幅回升是由于苯甲醛受热后可能会转化为己醛、反式-2-辛烯醛、椰子醛。

醇类物质 2,3-丁二醇、正己醇含量极显著上升( $p < 0.01$ )外,其余醇类均极显著下降( $p < 0.01$ ),甚至消失。醇类化合物一般气味柔和,本试验对照组1-辛烯-3-醇含量较高。这个结果印证了该物质是新鲜杏鲍菇风味物质主要贡献之一<sup>[18]</sup>。1-辛烯-3-醇是杏鲍菇在栽培过程由于子实体内脂肪氧化酶催化形成的,其稳定性并不高,脂肪氧化酶活力与1-辛烯-3-醇的含量随保存时间的增长而不断降低,同时受到各种干燥方式如热风干燥、远红外干燥、真空冷冻干燥等的影响浓度会逐渐下降,因而一定程度上影响杏鲍菇的风味。高热条件易造成低沸点醇类物质的挥发、氧化,造成干制品中醇含量降低。

酮类、酯类含量与其他物质相比较为稳定。酮类物质,除2-十一酮含量极显著上升( $p < 0.01$ )外其余酮类均极显著下降( $p < 0.01$ ),甚至消失;酯类物质,除辛酸乙酯、邻苯二甲酸二异丁酯含量极显著上升( $p < 0.01$ )外,其余酯类均极显著下降( $p < 0.01$ )甚至消失。酮类化合物有特殊的香气,如2-十一烷酮具有柠檬风味,3-辛酮带有杏、梅、李香味,含量相对较低的苯乙醛提供水果甜香气。酯类化合物是经低级饱和脂肪酸与醇类化合物而成,辛酸乙酯、正癸酸乙酯、邻苯二甲酸二异丁酯等极显著升高有可能是一些醇类物质参与了其合成,故而造成结果中某些醇类物质减少;另一方面,随着干燥温度的升高,干燥时间的延长,也可能导致酯类化合物含量减少甚至消失,如棕榈酸乙酯、油酸甲酯、油酸乙酯等极显著下降。食用菌风味是由其内部含有的酮类、酯类物质调和或互补而产生的。

表1 不同干燥方法干燥后杏鲍菇挥发性成分

Table 1 Volatile components of *Peryngii* based on different drying methods

编号	中文名	相对含量/%				
		鲜杏鲍菇	热风干燥	远红外	真空冷冻	
醛	1	己醛	0.12	34.52**	16.12***	0.09***
	2	正庚醛	0.73	0.53**	0.68***	0.21***

转下页

接上页						
	3	苯甲醛	2.81	1.08**	1.07**	1.38** <sup>#</sup>
	4	正辛醛	0.83	0.74**	N.D.	0.71**
	5	苯乙醛	1.00	0.60**	N.D.	0.57**
	6	反式-2-辛烯醛	0.54	0.90**	0.83**	0.45**
	7	壬醛	1.45	2.08**	3.93** <sup>##</sup>	3.86** <sup>##</sup>
	8	癸醛	0.76	0.58**	0.39** <sup>##</sup>	1.22** <sup>##</sup>
	9	对叔丁基苯甲醛	0.19	N.D.	1.99**	N.D.
	10	椰子醛	0.10	0.15**	0.11** <sup>#</sup>	0.19** <sup>#</sup>
		醛类总含量	8.53	41.18**	25.12** <sup>##</sup>	8.68 <sup>##</sup>
	1	1-戊醇	3.88	0.07**	0.42** <sup>##</sup>	N.D.
	2	2,3-丁二醇	0.53	0.49**	7.66** <sup>##</sup>	10.16** <sup>##</sup>
	3	正己醇	2.15	N.D.	2.53**	3.88**
	4	1-庚醇	0.33	0.50**	N.D.	0.09** <sup>##</sup>
	5	1-辛烯-3-醇	46.38	9.66**	1.23** <sup>##</sup>	1.23** <sup>##</sup>
醇	6	2-乙基-1-己醇	1.61	1.03**	N.D.	0.66** <sup>##</sup>
	7	2,4-二甲基环己醇	0.19	N.D.	N.D.	4.60**
	8	壬醇	3.54	1.71**	1.75** <sup>#</sup>	4.49** <sup>##</sup>
	9	苯乙醇	1.63	1.31**	1.11**	1.31**
	10	1-癸醇	0.23	0.23	0.19** <sup>##</sup>	0.10** <sup>##</sup>
	11	1,10-癸二醇	0.05	0.66**	0.05 <sup>##</sup>	0.07 <sup>##</sup>
		醇类总含量	60.52	15.66**	14.94** <sup>#</sup>	26.59** <sup>##</sup>
	1	3-辛酮	3.69	N.D.	3.69	N.D.
酮	2	甲基庚烯酮	1.85	0.03**	N.D.	N.D.
	3	2-十一酮	0.40	0.71**	N.D.	0.15** <sup>##</sup>
		酮类总含量	5.94	0.74**	3.69** <sup>##</sup>	0.15** <sup>##</sup>
	1	十八酸苯甲酯	0.34	0.16**	N.D.	0.16**
	2	辛酸乙酯	0.37	N.D.	0.56**	0.54**
	3	正癸酸乙酯	0.09	0.06	0.06	0.21 <sup>#</sup>
	4	邻苯二甲酸二异丁酯	0.05	0.14	0.08	0.30 <sup>#</sup>
酯	5	棕榈酸甲酯	0.04	N.D.	N.D.	N.D.
	6	棕榈酸乙酯	0.34	0.06**	0.05**	0.15** <sup>#</sup>
	7	油酸甲酯	0.39	N.D.	0.07**	0.06**
	8	油酸乙酯	0.32	N.D.	N.D.	N.D.
		酯类总含量	1.94	0.42**	0.82** <sup>##</sup>	1.42** <sup>##</sup>
	1	过氧化-1-乙基己基	1.53	N.D.	N.D.	N.D.
	2	异戊酸	0.57	0.20*	0.74 <sup>#</sup>	N.D.
其他化 合物	3	2-正戊基咪喃	0.28	1.28**	0.28 <sup>##</sup>	9.68** <sup>##</sup>
	4	肌苷	0.29	3.88** <sup>##</sup>	N.D.	4.58** <sup>##</sup>
	5	4-乙基-2-甲氧基苯酚	0.04	N.D.	N.D.	N.D.
	6	3-氨基-2-甲基苯甲酸	N.D.	N.D.	N.D.	1.13

注: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  vs control group; <sup>#</sup> $p < 0.05$ , <sup>##</sup> $p < 0.01$  vs hot air drying.

不同研究者对杏鲍菇挥发性物质分析结果有一定相似之处,但也有一定的差别,测出的风味物质种类、数目和含量等不尽相同,这与杏鲍菇中的挥发性成分含量较低、不稳定、组成复杂有关,也受其他因素影响,如品种和前处理条件等。

### 3 结论

护色处理后不同干燥方法对杏鲍菇干制产品色泽影响不显著,而对产品的复水性、质构特性、褐变相关酶活性、微观结构和挥发性成分的影响不同。护色处理后进行真空冷冻干燥对杏鲍菇质量影响相对较小。

### 参考文献

- [1] Li Siqian, N P Shah. Characterization, antioxidative and bifidogenic effects of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* after heat treatments [J]. Food Chemistry, 2016, 197: 240-249
- [2] 张化朋,张静,刘阿娟,等.杏鲍菇营养成分及生物活性物质分析[J].营养学报,2013,35(3):307-309  
ZHANG Hua-peng, ZHANG Jing, LIU A-juan, et al. Analysis of nutritional components and bioactive substances of *Pleurotus eryngii* [J]. Journal of Nutrition, 2013, 35(3): 307-309
- [3] Chen J J, Mao D, Yong Y Y, et al. Hepatoprotective and hypolipidemic effects of water-soluble polysaccharidic extract of *Pleurotus eryngii* [J]. Food Chem., 2012, 130(3): 687-694
- [4] 薛令坤,张劲松,唐庆九,等.杏鲍菇多糖的超滤分离及其理化特性和生物活性分析[J].食品与生物技术学报,2017,36(1):74-79  
XUE Ling-kun, ZHANG Jing-song, TANG Qing-jiu, et al. Physicochemical analysis and bioactivity investigation of polysaccharides separated from *Pleurotus eryngii* by ultrafiltration [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(1): 74-79
- [5] 陈健凯,林河通,李辉,等.杏鲍菇的热风干燥特性与动力学模型[J].现代食品科技,2013,29(11):2692-2699,2579  
CHEN Jian-kai, LIN He-tong, LI Hui, et al. Hot-air drying characteristics and kinetics model of *Pleurotus eryngii* [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(11): 2692-2699, 2579
- [6] M L Gargano, LJLDV Griensven, O S Isikhuemhen, et al. Medicinal mushrooms: valuable biological resources of high exploitation potential [J]. Plant Biosystems, 2017, 151(3): 548-565
- [7] 吴艳丽,魏艳丽,冯翠萍,等.杏鲍菇多肽对铅致大鼠氧化损伤的干预作用[J].食用菌,2017,39(1):63-65  
WU Yan-li, WEI Yan-li, FENG Cui-ping, et al. The effect of polypeptide on the oxidative injury of lead rats [J]. Edible Fungus, 2017, 39(1): 63-65
- [8] 胡花丽,王毓宁,张雷刚,等.高CO<sub>2</sub>结合低O<sub>2</sub>贮藏对杏鲍菇谷氨酸代谢的影响[J].现代食品科技,2016,32(6):136-141  
HU Hua-li, WANG Yu-ning, ZHANG Lei-gang, et al. Effects of storage in high carbon dioxide and low oxygen on glutamic acid metabolism in *Pleurotus eryngii* [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(6): 136-141
- [9] 邢淑婕,刘开华.不同干制方法对杏鲍菇品质的影响[J].食用菌学报,2010,17(1):83-85  
XING Shu-jie, LIU Kai-hua. Effect of different drying methods on the quality of *Pleurotus eryngii* fruit bodies [J]. Acta Edulis Fungi, 2010, 17(1): 83-85
- [10] Ho Young Jung, In Young Bae, Suyong Lee, et al. Effect of the degree of sulfation on the physicochemical and biological properties of *Pleurotus eryngii* polysaccharides [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 12(2): 52-56
- [11] Saklar S, Urgan S, Katnas S. Microstructural changes in hazelnuts during roasting [J]. Food Research International, 2003, 36(1): 19-23
- [12] 兰瑞芳,林少琴,冯珊,等.杏鲍菇漆酶的生物学特性[J].食用菌学报,2002,9(2):14-16  
LAN Rui-fang, LIN Shao-qin, FENG Shan, et al. Biological characteristics of laccase from *Pleurotus eryngii* [J]. Acta Edulis Fungi, 2002, 9(2): 14-16
- [13] Rocha AMCN, Morais AMMB. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes [J]. Food Control, 2003, 14: 13-20
- [14] Nathdanai Harnkarnsujarit, Charoenrein S, Roos Y H. Microstructure formation of maltodextrin and sugar matrices in freeze-dried systems [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(2): 734-742
- [15] 熊荣园,游楚镇,林俊芳,等.杏鲍菇干制品的酶活性及细胞结构分析[J].2015,15(3):243-246  
XIONG Rong-yuan, YOU Chu-zhen, LIN Jun-fang, et al. Analysis on the main enzyme activity and cell structure of *Pleurotus eryngii* dried [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(3): 243-246
- [16] 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  
TANG Qiu-shi, LIU Xue-ming, CHI Jian-wei, et al. Effects of different drying methods on quality and volatile



- components of *Pleurotus eryngii* [J]. Food Science, 2016, 37(4): 25-30
- [17] Zhang Y, Gao B, Zhang M, et al. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry analysis of the volatile components of longan [J]. Eur. Food Res. Technol., 2009, 229(3): 457-465
- [18] Pablo Montero-Prado, Rodrogez-lafuente A, Nerin C. Active label-based packaging to extend the shelf-life of “Calanda” peach fruit: Changes in fruit quality and enzymatic activity [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 60(3): 211-219

现代食品科技