

热风真空联合干燥对银耳品质及其微观结构影响

邵平 薛力 陈晓晓 孙培龙

(浙江工业大学生物与环境工程学院,浙江 杭州 310014)

摘要:研究热风——真空联合干燥对银耳品质的影响。以银耳收缩率、复水比、色泽、多糖含量以及微观结构等指标评价联合干燥效果,并与单独的热风干燥和单独的真空干燥进行对比,分析联合干燥的成本优势。结果表明,不同联合干燥条件热风 60℃——真空 50℃、热风 60℃——真空 60℃、热风 60℃——真空 70℃干燥效果均较好,干制后的银耳收缩率不低于 60%,复水比可达 12 以上,多糖含量 22% 以上,并具有良好的微观组织结构,相比单一的真空干燥和冷冻干燥,联合干燥成本分别降低 19% 和 51%。热风——真空联合干燥作为一种高品质、低能耗的干燥方式值得推广。

关键词:银耳;热风真空联合干燥;品质变化;微观结构

银耳,又称白木耳、雪耳、银耳子等,含有多种矿物质,在每 100g 银耳中,钙含量达 132mg、铁含量达 11mg。多糖是银耳的主要有效成分,具有增强机体免疫功能,促进肝细胞糖原合成,抗肿瘤,抗氧化,清除自由基,促进蛋白质和核酸合成,以及促进骨髓造血功能等药理作用^[1-3]。

新鲜银耳含水率高,一般为 75%~80%,贮藏保鲜难度很大,即使条件适宜,也仅能贮藏两周左右^[4]。脱水干制作为食品原料加工重要方法之一,已经广泛应用于食品工业中。目前,研究较多的干燥方法主要有热风干燥、真空干燥、微波干燥等。近年来,联合干燥成为众多学者的研究对象。作为一种新兴的干燥方法,范围广、灵活度高、干燥效果好等优点都预示着联合干燥具有良好的发展前景。邓宇等^[5]利用微波——真空干燥技术干燥蕨菜,经过对比发现,微波真空干燥的蕨菜品质明显优于热风干燥效果;Alibas^[6]与 Gowen 等^[7]对于微波——热风联合干燥的研究,主要侧重于微波场均匀性、微波系统性能整体优化及热风干燥节能工艺的研究。

干燥产品的品质特性是目前的研究热点^[8],不同干燥方法对胡萝卜^[9]、板栗^[10]、莲子^[11]等农产品品质的影响都有较多的报道。对于银耳干制技术研究,目前基本集中于单一的冷冻干燥、真空干燥和微波干燥

等方法上,而对其品质及产品经济效益的影响研究均不系统。以银耳真空干燥为例,干燥过程中温度低,氧气含量少,因此物料中营养成分不易分解和氧化,但也存在干燥时间长、成本高,实际应用可操作性低等缺点。传统的热风干燥温度高,物料中的营养成分易被破坏,干燥前后颜色变化大、干燥品质差。本文将热风干燥与真空干燥相结合,研究热风——真空联合干燥对银耳干品收缩率、复水比、多糖含量等品质以及微观结构影响,进行成本分析,探讨热风——真空联合干燥的可行性,为实际应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验原料与仪器设备

1.1.1 试验原料与试剂 新鲜银耳,由浙江庆元康元食品有限公司提供,初始含水率为 77%~82% (湿基)。

大黄米(粒径介于 1mm~1.50mm 之间),市售。

苯酚、浓硫酸,均为分析纯,95%乙醇。

1.1.2 主要仪器与设备 电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9070A,上海精宏实验设备有限公司);真空干燥箱(Binder vd53,德国宾德公司);色差仪(HunterLab ColorQ,美国 HunterLab 公司);扫描电镜(S-4700 型,

收稿日期:2012-09-12 接受日期:2013-01-16

基金项目:浙江省重大科技专项(2009C12036)

作者简介:邵平(1980-),男,浙江龙游人,博士,副教授,主要从事食品资源利用及其过程工程研究。E-mail: pingshao325@zjut.edu.cn

日本 Hitachi 公司); 高速冷冻离心机 (Hitachi CR21GII, 日本 Hitachi 公司); 数显恒温水浴锅 (HH-4, 江苏金坛江南仪器厂); 电子天平等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验流程 新鲜银耳 → 预处理 → 干燥 (热风——真空联合干燥、热风干燥和真空干燥) → 收缩率、复水比、色泽和多糖含量等指标测定。

预处理: 新鲜银耳 → 剔除耳基部培养基 → 清洗、沥干 → 备用。

(1) 热风-真空联合干燥^[12]: 称取预处理新鲜银耳 300g, 在 3 种不同的试验条件下进行干燥: 热风 60℃——真空 50℃, 热风 60℃——真空 60℃, 热风 60℃——真空 70℃, 三者均经热风干燥 15h, 再经真空干燥直至干基含水率降至 12% 以下 (下文中统一用 A 表示联合干燥中热风 60℃——真空 50℃ 的试验条件, B 表示热风 60℃——真空 60℃ 的试验条件, C 表示热风 60℃——真空 70℃ 的试验条件)。

(2) 热风干燥^[13]: 称取预处理过的新鲜银耳 300g, 分别放入 60、70、80℃, 风速均为 $2.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的电热恒温鼓风干燥箱内, 直至干基含水率降至 12% 以下。

(3) 真空干燥^[14]: 称取预处理过的新鲜银耳 300g, 分别放入 50、60、70℃, 真空度均为 0.09MPa 的真空干燥箱内, 直至干基含水率降至 12% 以下。

1.2.2 指标测定方法

(1) 收缩率的测定

采用置换法测体积^[15-16], 置换介质为大黄米。每组试验重复 3 次, 结果取平均值。

银耳收缩率的计算公式:

$$S = (V_2 - V_1) / V_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中 S ——收缩率; V_1 ——银耳干燥后体积; V_2 ——银耳干燥前体积

(2) 复水比的测定

称取干燥后的银耳干品, 在 40℃ 的恒温条件下复水, 复水时间 5min, 取出后沥干 5min, 并用吸水纸拭干银耳表面水分, 称重。每组试验重复 3 次, 结果取平均值。

银耳复水率的计算公式:

$$R = M_2 / M_1 \quad (2)$$

式中 R ——复水比; M_1 ——银耳复水前质量; M_2 ——银耳复水后质量

(3) 色泽的测定

将待测的银耳干品用剪刀绞碎后放入粉碎机粉碎, 再过 60 目筛, 装入 10mm 的比色皿中, 用色差仪进

行测定。每组试验重复 3 次, 结果取平均值。色泽参数中 L^* 值在 0~100 之间变化, 0 为黑色, 100 为白色, b^* 值在 -80~100 之间变化, -80 为蓝色, 100 为黄色。

银耳干品色泽的评价, 参考银耳卫生标准^[17], 采用 10 分制, 具体见表 1。

表 1 银耳干品色泽感官评分

Table 1 Values of color evaluation of dried *Tremella fuciformis*

外观 Appearance	评分 Value
叶片浅黄色, 表面有光泽, 耳基米黄色或橙色, 无霉点	9~10
叶片黄色, 光泽度小, 耳基褐色	6~8
叶片黄褐色, 无光泽, 耳基深褐色, 有霉点	3~5
叶片深褐色, 子实体霉变严重	1~2

(4) 多糖含量的测定

采用热水浸提法提取银耳中的多糖。具体操作: 取银耳干品 1g, 以料液比 1:30 加水, 热水浴 (96℃~100℃) 3h, 静置离心, 离心 ($10000\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 10min), 保留上清液, 沉淀继续加水, 相同条件水浴与离心, 将 2 次的上清液合并。以 1:4 加入乙醇, 醇沉过夜。第二天, 离心 ($10000\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 10min), 弃去上清液, 沉淀用蒸馏水溶解, 定容至 500mL, 即为待测液。

苯酚-硫酸法测多糖的含量^[18]。

(5) 微观结构的测定^[19]

在扫描电镜下放大 1000 倍进行观察并采集图谱。

2 结果与分析

2.1 联合干燥对银耳干品收缩率影响分析

将预处理的新鲜银耳分别用热风——真空联合干燥、热风干燥、真空干燥进行干制, 对比研究联合干燥对银耳收缩率的影响 (图 1)。

收缩率反映了干燥过程中银耳组织结构和细胞排列的变化, 是银耳干品品质评价的重要指标。由图 1 可以看出, 银耳经过联合干燥处理后收缩率明显高于真空干燥的数值, 接近热风干燥效果。联合干燥在热风烘干阶段, 自由水首先被除去, 此时银耳体积大幅缩小。转移至真空干燥阶段时, 银耳处于真空环境中, 内外存在气压差, 水分由银耳内部转移至表面及由表面扩散至真空环境中, 气压差作用起轻微的膨化效应, 降低银耳干品的收缩率。因此联合干燥效果与热风干燥

相比,存在微小差距,并且在联合干燥后期,除去的基本都是结合水,膨化效应不如单独真空干燥明显,从图中可以清楚看出.3种方法的差异。联合干燥3个不同试验水平中,A、B、C三者收缩率依次递增,与后期干燥条件有关,温度升高,时间缩短,因此收缩率是C > B > A。

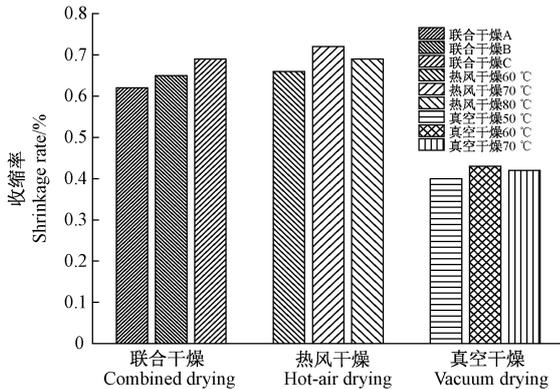


图1 不同干燥方法对银耳干品收缩率影响分析
Fig.1 Effects of different drying methods on dried *Tremella fuciformis* shrinkage rate

2.2 联合干燥对银耳干品复水比影响分析

银耳干品通常是先复水再食用,因此复水性的好坏也是衡量银耳干品的重要指标之一。联合干燥和其它方法对银耳干品复水比的影响见图2。

由图2得出结论,热风真空联合干燥后银耳的复水效果最好,A、B、C三者的试验结果都明显优于其它方法的干燥效果,整个复水过程中,不同方法干燥的银耳复水速度均是先快后慢。热风干燥温度高,银耳内部转移至表面的水分会迅速蒸发到空气中,后期内扩散的速度逐渐降低。当低于外扩散时,由于水分缺失,银耳表面会出现干瘪现象,影响复水效果。为避免这种现象,联合干燥中控制热风干燥时间处于15h内,在此期间银耳基本不会出现干瘪现象;真空干燥温度较低,而且银耳内外存在压差,水分的内扩散到后期速度下降缓慢,不会影响银耳结构。因此联合干燥银耳在复水的后半阶段越来越趋向于真空干燥复水效果。

通过对比收缩率和复水比发现,联合干燥效果兼具热风干燥和真空干燥两者优势。虽然联合干燥的收缩率不及热风干燥,但是热风干燥复水性却是三者中最差的,因此,从收缩率和复水比来看,联合干燥的效果是三种方法中最好的。

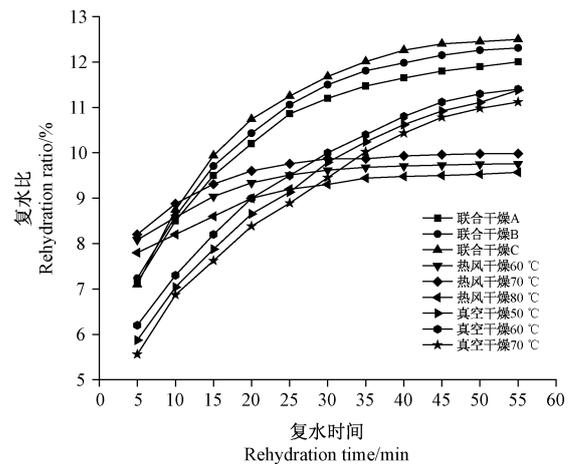


图2 不同干燥方法对银耳干品复水比影响分析
Fig.2 Effects of different drying methods on dried *Tremella fuciformis* rehydration ratio

2.3 联合干燥对银耳色泽影响分析

新鲜银耳在干燥过程中,由于脱水 and 高温作用,颜色会发生较大变化,联合干燥与其它两种方法对银耳颜色影响见表2。

表2 不同干燥方法对银耳颜色影响分析
Table 2 Effects of different drying methods on dried *Tremella fuciformis* color

干燥方式 Drying method	L*	b*	感官评价 Sensory evaluation
热风-真空联合干燥 A Hot-air and vacuum drying A	82.87	20.87	9
热风-真空联合干燥 B Hot-air and vacuum drying B	84.80	21.08	9
热风-真空联合干燥 C Hot-air and vacuum drying C	85.17	23.56	8
热风干燥 60°C Hot-air drying 60°C	81.30	22.33	8.5
热风干燥 70°C Hot-air drying 70°C	82.79	24.78	7.5
热风干燥 80°C Hot-air drying 80°C	79.87	26.46	6.5
真空干燥 50°C Vacuum drying 50°C	76.99	19.87	8.5
真空干燥 60°C Vacuum drying 60°C	77.12	21.92	8
真空干燥 70°C Vacuum drying 70°C	75.54	22.46	7.5
新鲜银耳 Fresh <i>Tremella fuciformis</i>	44.73	2.80	

由表2看,联合干燥与其它两种方法的L和b之间的区别较大,观察银耳干品颜色,联合干燥的效果最好,从感官评价看,A和B的值高于C,这和C的高温环境有关。相比干燥前,A、B、C的L值均有大幅提高,其原因可能是干燥前银耳含水量高,影响到色差计光线的检测结果,无法准确反映银耳的色泽。b值增加是因为在干燥过程银耳发生褐变,热风干燥造成的褐变最为严重,联合干燥虽经过热风处理,但时间短,样品发生轻微褐变,所以b值不如热风干燥b值变化大,这与Krodida等^[20]的结论一致,除此之外,收缩率也会影响b值,不同方法的b值大小都与收缩率呈正相关。对比3种方法中各自3个水平不同试验结果,发现热风干燥中3个数值差别最大,联合干燥中,C的试验结果相比干燥前,变化幅度也是高于A和B。由此可见,干燥过程中温度以及时间是造成银耳颜色变化的主要因素。

2.4 联合干燥对银耳多糖含量影响分析

银耳中主要的功能成分是多糖,多糖含量是衡量银耳干品品质的必不可少的指标。银耳在干燥过程中多糖由于分解作用含量会降低,联合干燥与其它两种方法对银耳多糖含量影响见图3。

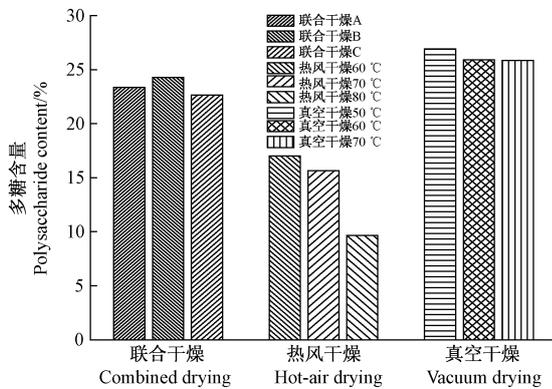


图3 不同干燥方法对银耳多糖含量影响分析

Fig. 3 Effects of different drying methods on dried *Tremella fuciformis* polysaccharide content

从图3可以看到,联合干燥的试验结果介于热风干燥和真空干燥数值之间,但是更接近效果最好的真空干燥,其中,A和B较为接近,C试验结果偏低。试验结果发现,多糖含量的高低与干燥温度有关。在干燥过程中,高温会促使多糖分解,降解为寡糖,温度越高,多糖降解的越多。真空干燥由于温度低,干燥后产品中多糖含量最高;在热风干燥后期,由于脱去的主要

是结合水,多糖更容易被分解,造成银耳干品中多糖含量进一步减少;联合干燥前期为热风干燥,因此部分多糖分解为寡糖,但是只要控制好热风干燥的时间,整个干燥过程中不会造成银耳多糖过多损失。

2.5 银耳干品微观结构分析

银耳经过电镜扫描,得到以下微观结构的图片,见图4。由图中可以看出,经过联合干燥处理过的银耳微观结构状态较好,存在立体网状结构,空隙大。C由于是60℃热风和70℃真空联合干燥,脱水过程中,银耳内部容易形成致密结构,部分区域出现挤压现象,因此干燥效果不如温度较低的A和B。真空干燥效果接近联合干燥,热风干燥的效果最差,网状结构不明显,并且有塌陷现象。不同干燥方法试验得到的微观结构各不相同,联合干燥和真空干燥因为存在真空环境,在干燥过程中水分的逸出会形成多空隙结构,而且温度不高,对组织破坏不严重,因此有网状疏松结构。而在热风干燥水分逸出银耳表面的过程中,内部的塌陷作用加上高温环境造成的皱变、萎缩,内部结构很容易遭到破坏。

从银耳的微观结构图中也可以分析复水比和收缩率,以联合干燥和热风干燥为例,联合干燥的微观结构比起热风干燥孔隙多,“支架”结构丰富,因此,对经过这两种方法干燥的银耳进行复水试验,随着时间延长,前者耳片更容易伸展,体积增大,复水性好;相反对于收缩率,由图中可以明显得出热风干燥的收缩率大于联合干燥这样的结论。

2.6 联合干燥能耗分析

以上分析了热风—真空联合干燥对银耳收缩率、复水比、色泽以及多糖含量等品质指标以及微观结构的影响,除此之外,能耗高低也会影响干燥方法的应用。表3中列出了热风—真空联合干燥、热风干燥、真空干燥与冷冻干燥的耗能对比情况。与真空干燥和冷冻干燥相比较,热风—真空联合干燥耗时最短,干燥成本比真空干燥节省了19%左右,甚至不到冷冻干燥的一半,具有明显优势。以上内容仅从实验室层面进行比较分析,虽然不能完全应用于实际生产,但是有一定程度上的借鉴意义。

3 结论

本试验中3组热风—真空联合干燥水平分别是热风60℃—真空50℃、热风60℃—真空60℃、热风60℃—真空70℃,在此条件下干制的银耳收缩率不低于60%,复水比可达12以上,多糖含量22%以上,颜色稍黄。

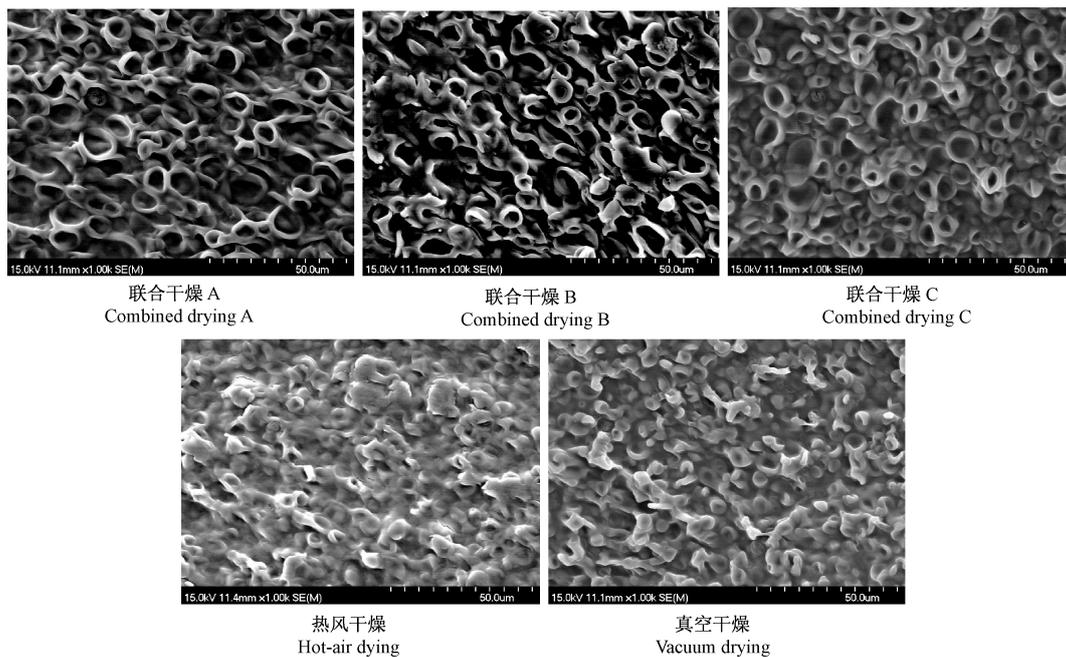


图 4 不同干燥方法对银耳微观结构影响分析

Fig. 4 Electron micrographs of *Tremella fuciformis* dried by different drying methods

表 3 联合干燥与其它干燥方法成本对比

Table 3 Cost comparison between combined hot-air and vacuum drying with other three drying methods

干燥方法 Drying method	时间 Time/h	成本 Cost/元·500g ⁻¹
热风-真空联合干燥 Hot-air and vacuum drying	39.5	37.5
热风干燥 Hot-air drying	23	11.5
真空干燥 Vacuum drying	46	46
冷冻干燥 ^[8] Freezedrying	54	76.7

注:所需成本以每度电 0.5 元计算。

Note: The cost per kilowatt hour is 0.5 yuan.

银耳干品的微观结构呈立体网状结构,孔隙较多,干燥效果好,不过 60℃ 热风和 70℃ 真空联合干燥的微观结构稍有缺陷;从微观结构也能观察分析银耳干品的收缩率和复水比。

通过与其它干燥方法相对比,同样具有良好干燥效果的热风——真空干燥在实验室层面上成本低,比真空干燥降低了 19%,比冷冻干燥降低了 51%。

综上所述,热风——真空联合干燥是一种高品质、低能耗的干燥方法。

参考文献:

- [1] 李燕,刘晓丽,裴素萍,施尧,蔡东联. 银耳多糖对实验性衰老模型小鼠免疫功能的影响[J]. 中国临床营养杂志, 2005, 13(4): 228-231
- [2] Jeong H J, Yoon S J, Pyun Y R. Polysaccharides from edible mushroom hinmogi (*Tremella fuciformis*) inhibit differentiation of 3T3-L1 adipocytes by reducing mRNA expression of PPAR gamma, C/EBP alpha, and leptin [J]. Food Science and Biotechnology, 2008, 17(2): 267-273
- [3] 李燕,蔡东联,胡同杰,陈小莉. 银耳多糖对实验性衰老小鼠的保护作用[J]. 第二军医大学学报, 2004, 25(10): 1104-1107
- [4] 彭卫红,王勇,黄忠乾,甘炳成. 我国银耳研究现状与存在问题[J]. 食用菌学报, 2005, 12(1): 51-56
- [5] 邓宇,郑先哲. 蕨菜微波真空干燥特性和品质试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 253-257
- [6] Alibas I. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40: 1445-1451
- [7] Gowen A A, Abu-Ghannam N, Frias J, Oliveira J. Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9: 129-137
- [8] 黄建立,黄艳,郑宝东,李淑婷. 不同干燥方式对银耳品质的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 167-173
- [9] 马先英,赵世明,林艾光. 不同干燥方法对胡萝卜复水性及品质的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 158-161

- [10] 常学东,蔡金星,高海生,朱京涛,刘秀凤. 不同干燥方法对板栗感官性状的影响[J]. 食品科技,2006,31(10):81-83
- [11] 曾绍校,梁静,郑宝东,赵扬帆,林鸳鸯. 不同干燥工艺对莲子品质的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(5):227-231
- [12] 刘燕艳. 干燥对银耳品质的影响及工艺比较[D]. 杭州:浙江工业大学,2011
- [13] 张丽华,徐怀德,李顺峰. 不同干燥方法对木瓜干燥特性的影响[J]. 农业机械学报,2008,39(11):70-75
- [14] 车刚,李成华,汪春. 蕨菜真空干燥的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,5(22):165-169
- [15] Sham P W Y, Scaman C H, Durance T D. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety[J]. Food Science, 2001, 66(9):1341-1347
- [16] Reza G A, Zahra E D, Mohammad A M. Effect of drying method on micro structural changes of apples [J]. IDS 2004 Proceedings, Brazil, 2004, 8:14365-1441
- [17] GB 11675-2003. 银耳卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社出版, 2004
- [18] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, Rebers P A, Smith F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances[J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3):350-356.
- [19] 郭素枝. 扫描电镜技术及其应用[M]. 厦门:厦门大学出版社, 2006:1-12
- [20] Krodidia M K, Maroulis Z B, Saravacos G D. The effect of the method of drying on the color of dehydrated products [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2001, 36:53-59

***Tremella* Quality of Combined Hot-air and Vacuum Drying and Its Effect on Micro-structure**

SHAO Ping XUE Li Chen Xiao-xiao SUN Pei-long

(College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang 310014)

Abstract: The effects of combined hot-air and vacuum drying on quality of dehydrated *Tremella fuciformis* were studied. The dehydrated *Tremella fuciformis* shrinkage rate, rehydration ratio, color, polysaccharide content and microstructure were studied and compared with those of single hot-air drying (AD) and vacuum drying (VD). The cost of combined hot-air and vacuum drying was analyzed. When the temperatures of three combined drying levels are 60°C (AD) and 50°C (VD), 60°C (AD) and 60°C (VD), 60°C (AD) and 70°C (VD), dehydrated *Tremella fuciformis* shrinkage rate was not below 60%, rehydration ratio was more than 12, polysaccharide content was more than 22% and microstructure was good. The cost of combined hot-air and vacuum drying was lowered by 19% and 51%, respectively, compared with those of single vacuum drying and freezing drying. The results showed combined hot-air and vacuum drying could be generalized as a high quality and low energy drying method.

Key words: *Tremella Fuciformis*; Combined Hot-air and Vacuum Drying; Quality Change; Microstructure