热风干燥制作双孢蘑菇粉工艺

黄　凡，刘　莹，张晶晶，袁　岩，黄　文*
(华中农业大学食品科学技术学院，湖北 武汉　430070)

摘　要：以新鲜的双孢蘑菇为原料，研究热风干燥制作双孢蘑菇粉的加工工艺，并对不同护色剂的护色效果进行探讨。结果表明：双孢蘑菇粉适宜的加工工艺是为热风干燥温度50℃、干燥时间7h、双孢蘑菇切片厚度2mm、装载量40g/dm^2；双孢蘑菇护色液的最佳配方为亚硫酸钠0.1g/100mL、*D*-异抗坏血酸钠0.3g/100mL、柠檬酸0.05g/100mL，采用该法生产的双孢蘑菇粉与冷冻干燥相比，色泽、营养价值和功能特性都略微降低，但是并不明显。

关键词：双孢蘑菇；热风干燥；加工工艺；色泽

Hot Air Drying for the Production of *Agaricus bisporus* Powder

HUANG Fan，LIU Ying，ZHANG Jing-jing，YUAN Yan，HUANG Wen*
(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan　430070, China)

Abstract：In this work, the hot Air drying processing technique of *Agaricus bisporus* powder was studied. The effect of color-protection solution were discussed. The study results showed that the optimized processing technique were as follows: hot air drying temperature 50 ℃, slice thickness 2 mm, mushroom loading 40 g/m^2 and drying time 7 h. The optimum color protection solution contained sodium sulfite (0.1 g/100 mL), sodium *D*-isoascorbate (0.3 g/100 mL) and citric acid (0.05 g/100 mL). Compared with freeze-dried powder, slight reductions were observed in the color, nutritional value and functional properties of hot air dried powder while no significant difference was present.

Key words：*Agaricus bisporus*；hot air drying；processing；colour
中图分类号：TS255.3　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630(2013)10-0058-04
doi:10.7506/spkx1002-6630-201310013

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)又名口蘑、白蘑菇、洋蘑菇，是一种高蛋白、低脂肪、低热能、高营养价值的保健食品。双孢蘑菇是目前唯一全球性栽培的食用菌，其产量占食用菌总量的70%，虽然产量很大，但是由于双孢蘑菇达到生理成熟后的子实体保鲜期短且容易褐变，导致其商品性降低[1-5]。目前双孢菇的加工一直沿袭传统的加工方法，如罐头、腌制品等，这些已难以满足消费者的需求，而且也难以获得更高效益，因此，急需开发新型的双孢蘑菇产品来满足市场的需求。双孢蘑菇粉具有果蔬粉，营养丰富，食用和保藏方便，以及便于后期加工等特点，能够添加到面条、饼干等食品中，双孢蘑菇粉的开发对于提高其市场价值有着极其重要的意义。

目前，中国出口双孢蘑菇的干制方法，以常压热风干燥法和真空冷冻干燥法为主[6]，研究发现[7]，不同的干燥方式对双孢蘑菇的色泽影响很大，例如：冷冻干燥的双孢蘑菇色泽均一，呈纯白色，而热风干燥的则菇体色泽发黄，营养成分相比前者有明显降低；林启训等[8]运用气调干制设备，N_2、CO_2替代一部分O_2能有效的降低双孢蘑菇在脱水过程中的褐变和营养成分的损失；杨薇等[9]比较了热风干燥、微波对流干燥和微波真空干燥对双孢蘑菇色泽的影响，发现热风干燥蘑菇的颜色最接近新鲜蘑菇，其次是微波真空干燥，微波对流干燥的色质最差。目前，热风干燥对双孢蘑菇粉的影响则未有报道。

真空冷冻干燥法相比热风干燥法，所生产的蘑菇粉质量好，但因其设备投资高，且耗电量要比热风干燥大得多，因此限制了其在双孢蘑菇粉加工过程中的应用。本实验研究热风干燥制作双孢蘑菇粉的工艺，有效地抑制了双孢蘑菇粉加工过程中的褐变，制作出了一种色泽与营养俱佳的双孢蘑菇粉，以期为双孢蘑菇粉的热风干燥技术的应用和工业化生产提供理论参考。

收稿日期：2012-04-09
基金项目：广东省教育部产学研结合项目(2011B090400222)
作者简介：黄凡(1987—)，男，硕士研究生，研究方向为食用菌加工。E-mail：huangfan1002@163.com
*通信作者：黄文(1968—)，女，教授，博士，研究方向为食用菌安全与加工。E-mail：huangwen@mail.hzau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜双孢蘑菇 华中农业大学集贸市场；柠檬酸(食品级)、抗坏血酸(食品级)、异抗坏血酸钠(食品级) 市售；*L*-半胱氨酸、亚硫酸钠、浓硫酸、石油醚、氢氧化钠、苯酚均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

722型分光光度计 上海光谱仪器有限公司；1712型精密分析天平 美国Sarterius 公司；TCS-200电子天平 武汉电子秤重仪器公司；HH-6型恒温水浴锅 常州市国华电器有限公司；数显鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司；Ultra Scan XE型色度测定仪 美国Hunter Lab公司。

1.3 方法

1.3.1 双孢蘑菇粉加工工艺流程

新鲜双孢蘑菇→清洗→切片→护色→热风干燥→粉碎→过筛→包装

1.3.2 操作要点

原料的选择与预处理：选择新鲜的双孢蘑菇，清洗干净，然后切成蘑菇片。

粉碎：干燥制得的蘑菇片用多功能粉碎机进行粉碎，过100目筛，即制成双孢蘑菇粉。

1.3.3 单因素及正交试验设计

将沥干后的蘑菇片放入鼓风干燥箱中干燥，干燥箱的风速为1m/s，干燥时间为7h，分别考察热风干燥温度、切片厚度和装料量对双孢蘑菇色度的影响。

将VC、*L*-半胱氨酸、亚硫酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、柠檬酸等作为护色剂，配制成护色液，将切好的蘑菇片浸泡在护色液中，进行单因素试验。在单因素试验基础上，选取亚硫酸钠、*D*-异抗坏血酸钠和柠檬酸作三因素三水平正交试验，以双孢蘑菇色度作为考察指标。

1.3.4 指标测定

营养成分的测定：参照食品分析[10]和糖复合物生化研究技术[11]进行测定。

色度的测定：将双孢蘑菇粉装入自封袋，采用色度仪读取双孢蘑菇粉的L^*值(白度)、a^*值(红度)、b^*值(黄度)。

密度的测定：取10g双孢蘑菇粉，装入50mL量筒中，振荡量筒，使其分布均匀，然后静置1h，读取10g蘑菇粉的体积，由公式$\rho=m/V$，计算双孢蘑菇粉的密度。

流动性的测定：取10g双孢蘑菇粉，按照范方宇[12]的方法进行测定。

吸水性和吸油性的测定[13]：称取0.5g双孢蘑菇粉于离心管中，分别加入水或油10mL振荡混合30s，室温静置30min后，以3000r/min离心30min，计算每克样品的吸水和吸油体积。

乳化性和乳化稳定性的测定：参照Coffman[14]、张旻[15]等的方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 干燥温度对双孢蘑菇粉色度的影响

双孢蘑菇切成厚3mm的片状，装料量为40g/dm^{2}条件时，采用不同的干燥温度制作双孢蘑菇粉，测定干燥后双孢蘑菇粉的色度L^*值，其结果如图1所示。

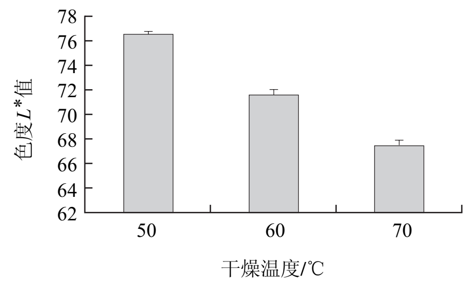

图 1 干燥温度对双孢蘑菇粉色泽的影响

Fig.1 Effect of drying temperature on color of *Agaricus bisporus* powder

由图1可知，干燥温度显著影响蘑菇粉的L^*值(白度)，在50℃时，蘑菇粉的L^*值最大，色泽最好，随着温度升高，蘑菇粉的L^*值显著降低。其原因是：温度是影响褐变的重要因素，温度越高，褐变速率越快，双孢蘑菇粉色泽越差。因此，选择50℃为最佳干燥温度。

2.2 切片厚度对双孢蘑菇粉色度的影响

热风干燥温度50℃，装料量40g/dm^{2}的条件下，采用不同切片厚度的双孢蘑菇片制作双孢蘑菇粉，测定干燥后双孢蘑菇粉的色度L^*值，结果如图2所示。

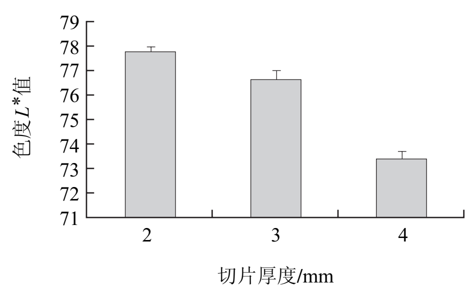

图 2 切片厚度对双孢蘑菇粉色泽的影响

Fig.2 Effect of slice thickness on color of *Agaricus bisporus* powder

由图2可知，双孢蘑菇片的厚度影响双孢蘑菇粉的色度，随着厚度的增加，L^*值降低。当厚度从2mm增加到3mm时，L^*值降低了1.7，但是当厚度增加到4mm时，L^*值则降低了4.2，降低趋势比较显著。其原因是：双孢蘑菇片的厚度越大，在干燥过程中水分迁移距离增大，所需的干燥时间增长，褐变程度加深，双孢蘑菇粉色泽降低。因此，选择双孢蘑菇切片厚度为2mm。

2.3 装料量对双孢蘑菇粉色度的影响

热风干燥温度50℃、双孢蘑菇切成厚3mm的片状条件下，在不同双孢蘑菇装料量的条件下制作双孢蘑菇粉，测定其色度*L**值，其结果如图3所示。

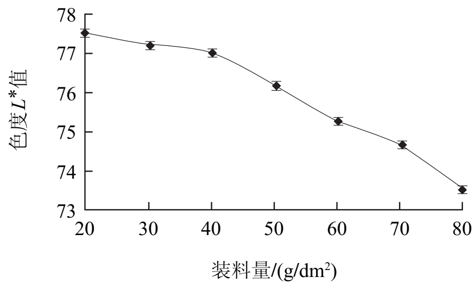

图3 装料量对双孢蘑菇粉色泽的影响

Fig.3 Effect of loading volume on color of *Agaricus bisporus* powder

由图3可知，单位面积装料量影响双孢蘑菇粉的*L**值，随着装料量的增加，*L**值逐渐降低，装料量在20～40g/dm^{2}时，*L**值降低速率缓慢，但是超过40g/dm^{2}时，下降速率则比较显著。其原因是：装料量过多，阻碍了水蒸气的扩散，干燥箱中的湿度变大，所需干燥时间变长，加剧了双孢蘑菇的褐变。因此，选择装料量为40g/dm^2。

2.4 烫漂处理对双孢蘑菇粉色度的影响

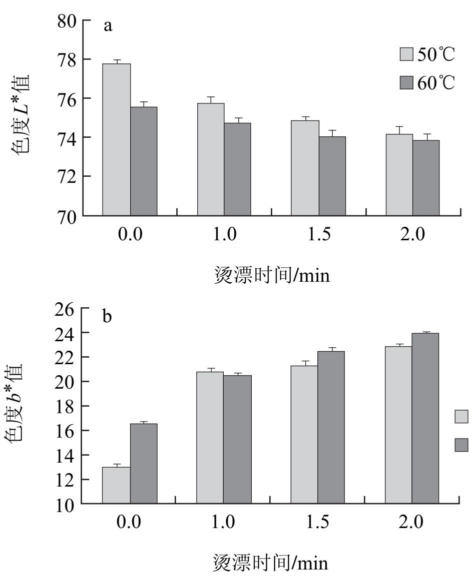

图4 烫漂工艺对蘑菇粉色泽的影响

Fig.4 Effect of blanching on color of *Agaricus bisporus* powder

许多学者对食用菌脱水干制过程的褐变机理进行实验分析，认为多酚氧化酶和过氧化物酶是导致干燥过程食用菌褐变的主要原因[16-17]。一般采用灭酶的方式来抑制其发生酶促褐变。双孢蘑菇片经烫漂处理，多酚氧化酶等酶失活，能有效的抑制双孢蘑菇在干燥过程中的酶促褐变，所以理论上烫漂处理对双孢蘑菇粉色泽有一定的保护作用[18]。

双孢蘑菇切片厚度3mm、装料量为40g/dm^{2}条件下，采用不同的烫漂时间的双孢蘑菇片制作蘑菇粉，测定50℃和60℃干燥后蘑菇粉的色度(*L**值和*b**值)，其结果如图4所示。

由图4可知，干燥温度50℃和60℃条件下，经烫漂处理制得的蘑菇粉的*L**值相对于未烫漂的都降低，而且烫漂时间越长，*L**值越低；*b**值也是随着烫漂时间增加不断的升高。烫漂处理使得干燥后的蘑菇粉白度降低，黄度增加，褐变更加严重，原因可能是：1)高温烫漂使得双孢蘑菇组织结构破坏，更多内部的组织暴露在空气中，加剧了褐变[19]；2)热风干燥过程中，非酶促褐也起着关键的作用，而烫漂处理则加剧了非酶促褐变的速率。

2.5 双孢蘑菇护色剂的选择

双孢蘑菇粉加工过程中不适合进行烫漂处理，为了抑制双孢蘑菇在干燥过程中酶促和非酶促褐变，分别选择VC、*L*-半胱氨酸、亚硫酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、柠檬酸作为护色剂，研究每种护色剂的护色效果，筛选出护色效果较好的护色剂，然后进行复配，研究出较适宜的护色剂配方，其结果如表1所示。

表1 不同护色剂对双孢蘑菇粉色泽的影响

Table 1 Effect of color-protection solution on color of *Agaricus bisporus* powder

护色剂	*L**值	*b**值	护色剂	*L**值	*b**值
对照	76.63	16.08	0.3g/100mL柠檬酸	80.61	15.51
0.1g/100mL VC	79.16	14.81	0.1g/100mL亚硫酸钠	81.49	14.42
0.3g/100mL VC	79.45	16.61	0.3g/100mL亚硫酸钠	82.11	15.25
0.1g/100mL半胱氨酸	77.13	15.17	0.1g/100mL异抗坏血酸钠	79.52	14.92
0.3g/100mL半胱氨酸	79.09	16.64	0.3g/100mL异抗坏血酸钠	80.45	14.61
0.1g/100mL柠檬酸	80.62	13.71			

由表1可知，VC、*L*-半胱氨酸、亚硫酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、柠檬酸5种护色剂都能在一定程度上提高双孢蘑菇粉的色泽，其中经柠檬酸、亚硫酸钠和*D*-异抗坏血酸钠溶液护色的双孢蘑菇粉色泽最好，*L**值更高，*b**值更低，所以选择这3种进行复配，对双孢蘑菇进行护色。

2.6 复合护色剂对双孢蘑菇粉色度的影响

采用亚硫酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、柠檬酸进行复配，测定复合护色剂对双孢蘑菇粉色度的影响，其结果如表2所示。

由表2可知：当护色液组合为$A_2B_2C_1$，即亚硫酸钠为0.1g/100mL、*D*-异抗坏血酸钠0.3g/100mL、柠檬酸0.05g/100mL时，双孢蘑菇粉具有最高的*L**值，即蘑菇粉的色泽越白。由极差值可知，3种护色剂中，亚硫酸钠对*L**值的影响最大，其次是柠檬酸，最后是*D*-异抗坏血酸钠。

当护色液组合为$A_2B_3C_1$，即亚硫酸钠为0.1g/100mL、*D*-异抗坏血酸钠0.4g/100mL、柠檬酸0.05g/100mL时，双孢蘑菇粉具有最低的*b**值，即双孢蘑菇的黄度越小。由

极差值可知，3种护色剂中，柠檬酸对b^*值的影响最大，其次是亚硫酸钠，最后是异抗坏血酸钠。

表2 正交试验设计与结果

Table 2 Results of orthogonal test

试验号		A亚硫酸钠/(g/100mL)	B D-异抗坏血酸钠/(g/100mL)	C柠檬酸/(g/100mL)	L^*	b^*
1		1(0.05)	1(0.2)	1(0.05)	80.52	14.23
2		1	2(0.3)	2(0.1)	80.04	15.68
3		1	3(0.4)	3(0.15)	78.57	16.65
4		2(0.1)	1	2	82.80	15.23
5		2	2	3	82.51	15.45
6		2	3	1	84.57	13.57
7		3(0.15)	1	3	79.60	17.76
8		3	2	1	83.74	15.23
9		3	3	2	81.32	15.78
L^*值	k_1	79.71	80.81	82.94		
	k_2	83.29	82.09	81.36		
	k_3	81.55	81.48	80.22		
	极差	3.58	1.12	2.71		
b^*值	k_1	15.52	15.75	14.34		
	k_2	14.75	15.45	15.56		
	k_3	16.62	15.33	16.62		
	极差	1.507	0.407	2.277		

综合考虑L^*值和b^*值，选择亚硫酸钠0.1g/100mL、*D*-异抗坏血酸钠0.3g/100mL、柠檬酸0.05g/100mL作为最适宜的护色剂，对双孢蘑菇进行护色处理。经验证，经该护色剂处理得到的蘑菇粉的色泽是L^*值85.24、a^*值2.05、b^*值13.14，明显优于其他的组合。

2.7 双孢蘑菇粉品质特性的分析

表3 热风干燥和冷冻干燥对双孢蘑菇粉营养成分和色度的影响

Table 3 Comparison of the effect of hot air drying and freeze-drying on nutritional components and chrominance of *Agaricus bisporus* powder

双孢蘑菇粉	粗蛋白含量/%	粗纤维含量/%	粗脂肪含量/%	灰分含量/%	粗多糖含量/%	色度		
						L^*	a^*	b^*
冷冻干燥	25.26	28.54	3.15	8.79	11.48	90.16	0.38	10.38
热风干燥	23.71	25.63	2.47	8.34	8.59	85.24	2.05	13.14

由表3可知，热风干燥相比冷冻干燥，双孢蘑菇粉的营养成分都略有降低，但是除了粗多糖之外，其他的成分的减少都不明显；在色泽方面，两者差距还是比较明显的，热风干燥的双孢蘑菇粉色泽略差，白度出现降低，黄度略有增加，但是L^*值达到了85.24，色泽已较为理想。

表4 热风干燥和冷冻干燥对双孢蘑菇粉功能特性的影响

Table 4 Effect of hot air drying and freeze-drying on functional properties of *Agaricus bisporus* powder

双孢蘑菇粉	密度/(g/cm^3)	流动性/cm	吸水性/(mL/g)	吸油性/(mL/g)	乳化性/%	乳化稳定性/%
冷冻干燥	0.18	12.5	2.91	2.11	48.2	87.8
热风干燥	0.28	9.7	2.50	1.59	49.4	92.3

由表4可知，不同干燥方式对蘑菇粉密度、流动性、吸水性和吸油性有明显的影响，其中冷冻干燥的双孢蘑菇粉的密度较小，流动性好，吸水性和吸油性也是明显优于热风干燥的双孢蘑菇粉，其原因是因为冻干的蘑菇粉组织结构比较疏松，内部还是依然保留了微孔结构[20]。干燥方式对双孢蘑菇粉的乳化性和乳化稳定性的影响不明显，差异微小。

3 结 论

3.1 双孢蘑菇粉生产的最佳工艺条件为热风干燥温度50℃、双孢蘑菇切片厚度2mm、装载量40g/dm^2；双孢蘑菇适宜的护色液配方是为亚硫酸钠0.1g/100mL、*D*-异抗坏血酸钠0.3g/100mL、柠檬酸0.05g/100mL。

3.2 烫漂处理会加剧双孢蘑菇在干燥过程中的褐变，双孢蘑菇粉加工过程中不适合烫漂处理。

3.3 热风干燥制得的双孢蘑菇粉与冷冻干燥的相比，色泽、营养价值和功能特性都略微降低。

参考文献：

[1] 王相友, 石启龙, 王娟, 等. 双孢蘑菇护色保鲜技术研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 205-208.

[2] BRENNAN M, Le PORT G, GORMLEY R. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms[J]. LWT-Food Science and Technology, 2000, 35: 295-289.

[3] MANZI P, AGUZZI A, PIZZOFERRATO L. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy[J]. Food Chemistry, 2001, 73: 321-325.

[4] SHI Q L, WANG X H, ZHAO Y, et al. Glass transition and state diagram for freeze-dried *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111: 667-674.

[5] TSAI S Y, WU T P, HUANG S J, et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity[J]. Food Chemistry, 2007, 103: 1457-1464.

[6] 洪若豪. 出口干蘑菇片的干制技术[J]. 浙江食用菌, 1995(2): 32-34.

[7] 黄劲松, 杜先锋, 董明, 等. 不同干燥方式对双孢蘑菇品质的研究[J]. 食品工业科技, 2007(1): 113-114.

[8] 林启训, 谢雯君, 王则金, 等. 双孢蘑菇片气调干制工艺优化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 186-188.

[9] 杨薇, 欧又成, 张付杰, 等. 蘑菇热风、微波对流和微波真空干燥的对比试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 102-104.

[10] 大连轻工业学院等合编. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.

[11] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.

[12] 范方宇. 草莓粉喷雾干燥加工工艺的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.

[13] BHAT R, SRIDHAR K R. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (*Nelumbo nucifera*) seeds[J]. Food Chemistry, 2008, 107: 174-184.

[14] COFFMAN C W, GARCIA V V. Functional properties and amion acid content of protein isolate from mung bean flour[J]. Journal of Food Technology, 1977, 12(5): 473-484.

[15] 张旻, 罗丽萍, 丁红秀, 等. 新鲜和陈化莲子理化特性的初步比较[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 32-35.

[16] 唐学石, 许乃章. 蘑菇热风干燥的研究[J]. 农业机械学报, 1990(2): 50-55.

[17] 林启训. 干燥过程气体的温度和氧气含量对蘑菇褐变度的影响[J]. 福州大学学报, 2002(9): 751-754.

[18] PILIZOTA V, SUBARIC D. Control of enzymatic browning of foods[J]. Food Technology and Biotechnology, 1998, 36(3): 219-227.

[19] 王相友, 王健, 朱继英, 等. 双孢蘑菇酶促褐变特性及褐变的控制[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 318-322.

[20] 乔晓玲, 闫祝炜, 张原飞, 等. 食品真空冷冻干燥技术研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 469-474.