

# 滁菊蜂花粉喷雾干燥工艺研究

董艺凝, 孙艳辉\*, 郑训山

(滁州学院生物与食品工程学院, 安徽滁州 239000)

**摘要:**以滁菊蜂花粉为研究对象,在对蜂花粉破壁工艺进行比较研究的基础上,以出粉率、含水量、堆积密度及溶解时间为指标,通过单因素和正交实验对蜂花粉喷雾干燥工艺进行优化。实验结果表明胶体磨破壁效果较好,破壁粒径可达0.09 $\mu\text{m}$ 。滁菊蜂花粉最佳喷雾干燥工艺条件:料液比为1:15(g/mL),进料流量为200mL/h,进料温度为200 $^{\circ}\text{C}$ ,麦芽糊精的加入量为10%。该条件可以获得最优喷雾干燥产品出粉率为39.8%,含水量为3.9%,堆积密度为0.37g/mL,溶解时间为42s。

**关键词:**蜂花粉,破壁,喷雾干燥

## Study on Chu-ju bee pollen spray drying technology

DONG Yi-ning, SUN Yan-hui\*, ZHENG Xun-shan

(School of Biotechnology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

**Abstract:** Chu-ju bee pollen was used as raw material. Taking the flour extraction, moisture content, bulk density and dissolved time as index, the spray drying processes had been optimized using single factor investigations and orthogonal experiments based on the comparative study of the bee pollen broken conditions. The diameter was 0.09 $\mu\text{m}$  with broken by the colloid mill. The optimal bee pollen spray drying processes parameters were solid-liquid ratio 1:15(g/mL), feed flow rate 200mL/h, inlet air temperature 200 $^{\circ}\text{C}$ , and malt dextrin addition amount 10%. Under the optimum spray drying conditions, the flour extraction of product was 39.8%, the moisture content was 3.9%, the bulk density was 0.37g/mL, and the dissolution time was 42s.

**Key words:** bee pollen; wall-broken; spray drying

中图分类号: TS205.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)08-0302-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.08.060

蜂花粉营养价值丰富,包括蛋白质、碳水化合物、不饱和脂肪酸、酚类和微量元素等,在国外被誉为“天然微型营养库”和“全能营养食品”<sup>[1]</sup>。滁菊蜂花粉是蜜蜂以滁菊为蜜源植物,采集其花粉加上蜜蜂自身的腺上分泌物、唾液和花蜜形成的不规则扁圆形团状物<sup>[2]</sup>。滁菊产于安徽滁州,是我国四大名菊之首。素有“金心玉瓣,翠蒂天香”之美誉,是一种重要的中药材<sup>[3]</sup>。虽然人们对花粉的认识和应用已有数千年,我国还是世界上认识和应用蜂花粉最早的国家之一,但对于药用史悠久的滁菊,其蜂花粉的开发和利用在国内尚无前例。蜂花粉营养成分比较复杂,天然蜂花粉由于花粉壁的存在,溶解性较差导致食用时口感不佳,不利于对于其保健功能进行食品开发<sup>[4]</sup>。本项研究针对蜂花粉这一共性问题,以滁菊蜂花粉为研究对象,采用喷雾干燥工艺对破壁蜂花粉进行加工,在保留蜂花粉完整营养组成基础上改善蜂花粉溶解特性,为滁菊蜂花粉的加工及其便携速溶食

品的开发提供可行性依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

滁菊蜂花粉 滁州健颐园蜂业有限公司; 麦芽糊精、 $\beta$ -环糊精 无锡圣伦特国际贸易有限公司,食品级。

DS-1500型实验型喷雾干燥机 上海砥实机械设备有限公司; 胶体磨 转子转速2890r/min, 廊坊通用机械有限公司; B25 model型匀浆机 江苏省金坛市环宇科学仪器厂; RE-52AA型旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂; DHG-9101-OSA型电热恒温鼓风干燥箱 上海三法科学仪器有限公司; BM1000型生物显微镜 苏州西恩士工业科技有限公司; 计时器 深圳力科功器科技有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 蜂花粉喷雾干燥流程 滁菊蜂花粉 $\rightarrow$ 清洗、除杂 $\rightarrow$ 干燥(自然风干) $\rightarrow$ 配制料液 $\rightarrow$ 破壁(胶体磨定子与转子间距5mm) $\rightarrow$ 过滤(100目) $\rightarrow$ 喷雾干燥(压力式喷雾干燥法) $\rightarrow$ 蜂花粉干粉。

1.2.2 蜂花粉出粉率的测定 计算公式<sup>[5]</sup>如下:

$$\text{出粉率}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中:  $m_1$ —喷雾干燥前加入蜂花粉与辅料的质

收稿日期: 2013-08-05 \* 通讯联系人

作者简介: 董艺凝(1980-),女,博士,研究方向:酶的功能进化。

基金项目: 安徽高校省级科学研究项目(KJ2013B187); 安徽省蜂业科技示范专家大院项目(20120012); 滁州学院教学研究项目(2012jyy007); 滁州学院科研启动基金项目(2012qd14); 安徽省农产品质量与安全特色专业建设项目(20101032)。

量和(g);  $m_2$ —喷雾干燥后得到的产品的质量(g)。

1.2.3 蜂花粉含水量的测定 蜂花粉含水量的测定采用《食品安全国家标准食品中水分的测定》(GB 5009.3-2010)中直接干燥法。

1.2.4 蜂花粉溶解时间的测定 取10g样品加入80℃、150mL水中用玻棒搅拌,记录完全溶解(以样品颗粒溶解至肉眼不可见为准)<sup>[6]</sup>所需的时间。

1.2.5 蜂花粉堆积密度的测定 蜂花粉从漏斗中散落至10mL量筒中,测定10mL蜂花粉的质量,换算出其堆积密度<sup>[7]</sup>。计算公式见式(2):

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{式(2)}$$

式中: $m$ —蜂花粉干燥产品质量(g); $v$ —干燥产品体积(10mL)。

### 1.3 实验设计

1.3.1 蜂花粉破壁工艺的确定 取5个塑料瓶(350mL)分别加入100mL去离子水和15g蜂花粉。采用均质机分别在10000、13000、16000、19000、22000r/min转速下均质破壁(工作3s,停止3s,累计工作时间2min);同时,取150g花粉加入到1L的去离子水中,进行2890r/min胶体磨研磨破壁(累计时间1min)。胶体磨转子与定子间距调整为料液可以流出的最小间距(5mm)。取100mL破壁样液(相当于15g/100mL)进行过滤,在显微镜下观察并测量破壁颗粒粒径,并结合过滤后残留物质量比较胶体磨与均质破壁的效果。

#### 1.3.2 单因素实验设计

1.3.2.1 料液比对喷雾干燥的影响 分别以料液比为1:10、1:15、1:20(水为100mL,根据料液比加入蜂花粉),在进料流量220mL/h、进风温度200℃、麦芽糊精添加量为15%条件下,进行喷雾干燥,通过测量蜂花粉喷雾干燥样品的出粉率、含水量、堆积密度和溶解时间选出最佳料液比。

1.3.2.2 进料流量对喷雾干燥的影响 分别以进料流量为180、200、220、240mL/h作为单因素,在料液比为1:15(g/mL)、进风温度为200℃、麦芽糊精添加量为15%的条件下进行喷雾干燥实验,测量喷雾干燥蜂花粉的出粉率、含水量、堆积密度和溶解时间,选出最佳进料流量。

1.3.2.3 进风温度对喷雾干燥的影响 分别以进风温度160、180、200、220℃条件下进行喷雾干燥,固定进料流量220mL/h,料液比1:15(g/mL),麦芽糊精添加量为15%。通过测量喷雾干燥后的蜂花粉出粉率、含水量、堆积密度和溶解时间,选出最佳进风温度。

1.3.2.4 辅料种类及其加入量对喷雾干燥的影响 分别以麦芽糊精(5%、10%、15%、20%)和相同添加量 $\beta$ -环糊精作为单因素,在料液比1:15(g/mL)、进料流量220mL/h、进风温度200℃条件下进行喷雾干燥实验,通过测量喷雾干燥蜂花粉的出粉率、含水量、堆积密度及溶解时间,选出最佳辅料及其加入量。

1.3.3 正交实验设计 在单因素实验的基础上,设计正交实验,通过测量出粉率、含水量、堆积密度、溶解时间确定蜂花粉喷雾干燥最佳工艺组合。正交因素水平表见表1。

表1 正交设计因素与水平表

Table 1 Factors and levels of the orthogonal design

水平	因素			
	A 料液比 (g/mL)	B 进料流量 (mL/h)	C 进风温度 (℃)	D 麦芽糊精 添加量(%)
1	1:10	200	160	10
2	1:15	210	180	15
3	1:20	220	200	20

### 1.4 正交实验指标的确定

采用多指标正交实验的排队评分法对正交实验结果从优到劣进行排队,最高的给10分,最低的给1分,其他各结果按照比例换算出分数,最后将各项分数相加得出综合分数<sup>[8]</sup>。

### 1.5 数据处理

采用SPSS软件及Excel对实验数据进行显著性分析。所有样品重复测定3次,以平均值表示最终结果。在单因素实验的基础上,设计正交实验,通过测量出粉率、含水量、堆积密度,溶解时间,确定蜂花粉最佳的喷雾干燥工艺。

## 2 结果与分析

### 2.1 蜂花粉破壁工艺的选择

通过对破壁后残留物质量及破壁粒径大小的测定,比较分析了均质及胶体磨研磨两种工艺的破壁效果。比较结果如图1所示。在胶体磨额定转速2890r/min条件下,其破壁颗粒大小可达0.09 $\mu\text{m}$ ,经100目过滤后残留物质量仅有0.69g。与之相比,采用均质机进行破壁时,随着均质机转速提高,残留物质量、破壁颗粒直径逐渐减小。当均质机转速达到22000r/min时,破壁粒径达到最小值0.23 $\mu\text{m}$ 。以上结果说明采用均质破壁工艺,转速的增大可以提高破壁效果,减小颗粒大小。但与胶体磨破壁效果相比,最佳均质转速条件下的残留物质量可达到其2.5倍。综合比较破壁残留物质量及破壁颗粒粒径大小,本实验选择胶体磨工艺进行蜂花粉的破壁。

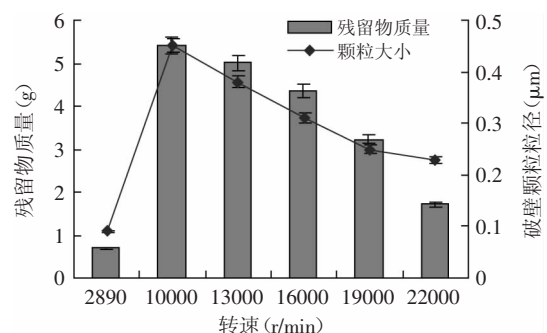


图1 滁菊蜂花粉破壁工艺比较

Fig.1 Processes comparison of pollen broken

### 2.2 单因素实验结果与分析

2.2.1 料液比对喷雾干燥工艺的影响 料液固形物含量是影响喷雾干燥产品性能的重要因素之一<sup>[9]</sup>。滁菊蜂花粉喷雾干燥工艺中料液比对产品出粉率、含

水量、堆积密度及溶解时间的影响如表2所示。随着料液比的增加,出粉率呈先增大后减小的趋势,含水量则逐渐增大。这是因为在同样的进风温度和进料流量下,料液比的增大可以在一定程度上提高出粉率进而提高产量。但当料液比过高,以至其含水量超出设备特定进风温度下的干燥能力时,部分不能及时干燥的物料,被滴漏至干燥室底部,导致出粉率的降低。同时,随着料液比的增加,产品的堆积密度呈上升趋势。而料液比的改变对产品溶解时间没有显著影响。综合考虑产品的出粉率、含水量、堆积密度和溶解时间,确定1:15(g/mL)为最优料液配比。

表2 料液比对蜂花粉喷雾干燥的影响(n=3)

料液比 (g/mL)	指标			
	出粉率 (%)	含水量 (%)	堆积密度 (g/mL)	溶解时间 (s)
1:10	16.15 <sup>a</sup> ±0.04	3.34 <sup>c</sup> ±0.04	0.31 <sup>c</sup> ±0	41a±0.58
1:15	23.77 <sup>a</sup> ±0.02	4.14 <sup>b</sup> ±0.14	0.34 <sup>b</sup> ±0	38 <sup>a</sup> ±1.53
1:20	17.45 <sup>b</sup> ±0.04	9.63 <sup>a</sup> ±0.06	0.36 <sup>a</sup> ±0	35 <sup>a</sup> ±0.58

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ ;n=3;表3~表5同。

2.2.2 进料流量对喷雾干燥工艺的影响 进料流量对干燥产品性能的单因素实验研究结果如表3所示。随着进料流量增加出粉率先增大后减小,含水量和堆积密度均逐渐增大。而产品溶解时间,随着进料流量的增加无显著变化。实验过程中发现进料流量大于200mL/h时,干燥室内开始出现料液滴漏现象。这一实验结果表明,进料流量的增加可在一定范围内,通过提高产品含水量提高产品的产量。但当进料流量超过设备干燥能力时,部分物料来不及充分干燥而形成滴漏损失,造成出粉率下降。综合比较干燥产品的出粉率、含水量、堆积密度及溶解时间四个指标

表3 进料流量对喷雾干燥的影响

Table 3 Effect of feed flow rate on spray drying processes

进料流量 (mL/h)	指标			
	出粉率 (%)	含水量 (%)	堆积密度 (g/mL)	溶解时间 (s)
180	21.63 <sup>b</sup> ±0.61	3.99 <sup>d</sup> ±0.02	0.31 <sup>c</sup> ±0.02	40 <sup>a</sup> ±0
200	28.11 <sup>a</sup> ±0.17	4.16 <sup>c</sup> ±0.01	0.36 <sup>b</sup> ±0.00	39 <sup>a</sup> ±0
220	20.1 <sup>c</sup> ±0.24	5.44 <sup>b</sup> ±0.02	0.37 <sup>b</sup> ±0.00	35 <sup>a</sup> ±0
240	15.4 <sup>d</sup> ±0.37	7.52 <sup>a</sup> ±0.02	0.44 <sup>a</sup> ±0.01	31 <sup>a</sup> ±0

表5 麦芽糊精、β-环糊精用量对喷雾干燥的影响

Table 5 Effect of maltodextrin and β-cyclodextrin addition on spray drying processes

加入量(%)	麦芽糊精				β-环糊精			
	出粉率(%)	含水量(%)	堆积密度(g/mL)	溶解时间(s)	出粉率(%)	含水量(%)	堆积密度(g/mL)	溶解时间(s)
5	12.51 <sup>d</sup> ±0.13	5.37 <sup>a</sup> ±0.03	0.31 <sup>d</sup> ±0.00	38 <sup>a</sup> ±1	12.91 <sup>d</sup> ±0.14	8.57 <sup>a</sup> ±0.05	0.61 <sup>d</sup> ±0.00	51 <sup>c</sup> ±1
10	19.24 <sup>c</sup> ±0.12	4.71 <sup>b</sup> ±0.02	0.38 <sup>c</sup> ±0.00	43 <sup>b</sup> ±1	15.14 <sup>c</sup> ±0.52	7.71 <sup>b</sup> ±0.04	0.58 <sup>c</sup> ±0.00	64 <sup>b</sup> ±1
15	24.71 <sup>b</sup> ±0.23	4.50 <sup>c</sup> ±0.06	0.46 <sup>b</sup> ±0.00	57 <sup>c</sup> ±1	17.41 <sup>b</sup> ±0.23	4.94 <sup>c</sup> ±0.06	0.66 <sup>b</sup> ±0.00	69 <sup>b</sup> ±1
20	26.68 <sup>a</sup> ±0.19	4.03 <sup>d</sup> ±0.04	0.51 <sup>b</sup> ±0.00	65 <sup>c</sup> ±1	18.98 <sup>a</sup> ±0.19	5.08 <sup>d</sup> ±0.04	0.71 <sup>a</sup> ±0.00	71 <sup>a</sup> ±1

性能,进料流量选择为200mL/h。

2.2.3 不同进风温度对喷雾干燥的影响 进风温度对产品性能的单因素影响实验结果如表4所示。随着进风温度升高,出粉率和堆积密度逐渐增大且产品含水量逐渐减小。表明温度提高有利于产量的提高。但当进风温度大于200℃时,干燥产品开始出现过热粘壁现象且伴有焦香味产生,同时产品的溶解性下降。由表4可见,产品溶解时间随进风温度的增加出现了先降低后增加的变化趋势。综合比较产品性能指标及产品品质,进风温度不宜超过200℃。

表4 进料温度对喷雾干燥的影响

Table 4 Effect of feed temperatures on spray drying processes

进风温度 (℃)	指标			
	出粉率 (%)	含水量 (%)	堆积密度 (g/mL)	溶解时间 (s)
160	12.41 <sup>d</sup> ±0.03	9.86 <sup>a</sup> ±0.02	0.30 <sup>d</sup> ±0.01	39.33 <sup>a</sup> ±1.15
180	20.44 <sup>c</sup> ±0.12	7.15 <sup>b</sup> ±0.03	0.33 <sup>c</sup> ±0.00	30.33 <sup>a</sup> ±0.58
200	25.31 <sup>b</sup> ±0.03	5.73 <sup>c</sup> ±0.04	0.36 <sup>b</sup> ±0.00	35.33 <sup>a</sup> ±0.58
220	27.88 <sup>a</sup> ±0.09	4.82 <sup>d</sup> ±0.06	0.37 <sup>a</sup> ±0.00	38.67 <sup>b</sup> ±0.58

2.2.4 不同辅料及其加入量对喷雾干燥的影响 麦芽糊精、β-环糊精是喷雾干燥产品常用的两种包埋剂<sup>[10]</sup>。两种辅料对滁菊蜂花粉喷雾干燥产品性能影响的比较结果如表5所示。随着辅料加入量的增加,产品出粉率、堆积密度及溶解时间均逐渐增大。同时,产品含水量逐渐减小。说明辅料的加入可以提高出粉率,并改变干燥产品的溶解特性。在麦芽糊精和β-环糊精添加量相同的条件下,前者出粉率较高,且含水量较低,产品溶解时间也较短。因此综合比较各项产品指标,选用麦芽糊精作为添加辅料。

### 2.3 滁菊蜂花粉喷雾干燥工艺正交实验结果与分析

由正交实验结果如表6所示。料液比(A)、进料流量(B)、进风温度(C)、麦芽糊精加入量(D)对喷雾干燥的影响大小依次为:A>C>D>B,最佳实验组合为A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>即料液比为1:15、进料流量为200mL/h、进风温度为200℃、麦芽糊精加入量为10%。由于实验得到的最佳组合不在正交表内,故进行验证实验。结果为出粉率39.8%,含水量为3.9%,堆积密度为0.37g/mL,溶解时间为42s,综合评分为38.0,高于9组实验中的任意一组,且该工艺条件下获得的产品基本保持了蜂花粉原有的颜色特征,产品溶解后具有滁菊蜂花粉特有清香。

## 3 结论

表6 蜂花粉喷雾干燥正交实验设计及结果  
Table 6 Design and results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	D	出粉率(%)	含水量(%)	堆积密度(g/mL)	溶解时间(s)	综合评分
1	1	1	1	1	25.5±0.17	6.91±0.06	0.37±0.00	49±1	18.5±0.11
2	1	2	2	2	27.6±0.15	6.23±0.04	0.62±0.00	57±1	13.2±0.10
3	1	3	3	3	36.9±0.17	5.11±0.03	0.41±0.00	68±2	24.3±0.12
4	2	1	2	3	37.5±0.14	4.21±0.05	0.53±0.00	45±1	31.1±0.13
5	2	2	3	1	41.2±0.18	4.67±0.07	0.38±0.00	40±1	37.3±0.15
6	2	3	1	2	28.3±0.14	4.61±0.04	0.51±0.00	45±1	25.4±0.13
7	3	1	3	2	29.5±0.19	4.11±0.03	0.47±0.00	50±1	27.1±0.14
8	3	2	1	3	27.4±0.13	6.23±0.06	0.71±0.00	38±1	16.1±0.11
9	3	3	2	1	29.7±0.17	6.07±0.08	0.48±0.00	41±1	23.4±0.12
K <sub>1</sub>	56.0	76.7	60.0	79.2					
K <sub>2</sub>	93.8	66.6	67.7	65.7					
K <sub>3</sub>	66.6	73.1	88.7	71.5					
k <sub>1</sub>	18.7	25.6	20.0	26.4					
k <sub>2</sub>	31.3	22.2	22.6	21.9					
k <sub>3</sub>	22.2	24.4	29.6	23.8					
R	12.6	3.4	9.6	4.5					

本研究首先对蜂花粉破壁工艺进行比较研究,选出最佳的破壁工艺为胶体磨(2890r/min),并在此破壁条件下进行喷雾干燥的正交实验,优化出最佳喷雾干燥工艺为:料液比为1:15(g/mL),进料流量为200mL/h,进风温度为200℃,麦芽糊精的加入量为10%,此时产品的出粉率为39.8%,含水率为3.9%,堆积密度为0.37g/mL,溶解时间为42s,产品保持了滁菊蜂花粉本身的黄色和清香。

参考文献

[1] 刘光楠,赖由运,刘振水,等. 蜂花粉抗氧化作用的研究进展[J]. 蜜蜂杂志, 2011, 9(11):34-35.  
 [2] Johnson S A, Nicolson S W. Pollen digestion by flower-feeding Scarabaeidae: protea beetles (Cetoniini) and monkey beetles(Hopliini)[J]. Insect Physiology, 2000, 47:725-733.  
 [3] Chichiricco G, Pacini E. Cupressus arizonica pollen wall  
 zona-tion and *in vitro* hydration[J]. Plant Systematics and Evolution, 2008, 270(3):231-242.  
 [4] 孟良玉,蔡文倩,兰桃芳,等. 纤维素酶对油菜花蜂花粉的破壁作用[J]. 食品科学, 2012, 33(22):72-75.  
 [5] 郭卫芸,张彦岭,曹琼. 喷雾干燥法生产麦胚粉的工艺研究[J]. 广东化工, 2011, 38(4):72-73.  
 [6] 辛修锋,余小林,胡卓炎. 杨梅颗粒固体饮料的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(2):162-165.  
 [7] 刘建党. 全藕粉喷雾干燥工艺实验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9):229-231.  
 [8] 苑玉凤. 多指标正交实验分析[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2005, 19(4):53-56.  
 [9] 王泽南,范芳宇,王华,等. 草莓粉喷雾干燥工艺参数及助干剂配料的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(9):117-119.  
 [10] 张慧,任斯嘉,胡文文,等. 喷雾干燥技术对食品微胶囊性质影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(2):214-217.

of *Grifola frondosa* by anion-exchange chromatography using urea solutions of low and high ionic strengths[J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1986, 34(8):3328-3332.  
 [3] Ohno N, Ohsawa M. Conformation of grifolan in the fruitbody of *Grifola frondosa* assessed by carbon-13 cross polarization magic angle spinning nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1987, 35(6):2585-2588.  
 [4] 袁筱琦,李行诺,陈佳丽,等. 微波法提取灰树花多糖的工艺研究[J]. 食药菌, 2012, 20(5):286-287.  
 [5] 郑亚凤,谢宝贵,徐培雄,等. 正交法优化三种灰树花多糖提取工艺[J]. 食用菌, 2008(5):55-57.  
 [6] 周昌艳,唐庆九,王军,等. 灰树花提取物清除氧自由基的研究[J]. 菌物研究, 2006, 4(3):31-34.  
 [7] 颜廷才,张旋,孟宪军,等. β-葡萄糖苷酶酶解刺嫩芽皂甙最佳工艺条件的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1):282-284.  
 [8] 杨建雄. 生物化学与分子生物学实验技术教程[M]. 第二版. 北京:科学出版社, 2009:35-36.  
 [9] 沈萍,范秀容,李广武. 微生物学实验[M]. 第三版. 北京:高等教育出版社, 2007:100.  
 [10] 陈欣,龚兰,刘冠卉. 食用真菌多糖提取条件的优化及其还原力的比较[J]. 食品科学, 2010, 31(14):140-144.  
 [11] 杨生兵,陆震鸣,耿燕,等. 灰树花子实体与发酵菌丝体挥发性化合物分析[J]. 菌物学报, 2013, 32(1):103-113.  
 [12] 胡国元,李超影,陈默,等. 香菇多糖和金针菇多糖的提取及其抑菌活性[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(6):30-34.  
 [13] 刁小琴,关海宁. 超声辅助提取黑木耳多酚及其抑菌活性研究[J]. 食品工业, 2013, 34(3):69-72.

(上接第301页)