

网络出版时间:2012-06-08 15:14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120608.1514.004.html>

超声波辅助提取双孢菇多糖的研究

高振鹏,袁亚宏,岳田利,杨昊博

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】对超声波辅助提取双孢菇多糖的工艺进行研究,为双孢菇罐头加工过程中废弃物的综合利用提供支持。【方法】以盐渍双孢菇罐头废弃物为原料,通过单因素及正交试验探讨了液料比、超声波功率、超声波处理时间及处理温度对双孢菇多糖提取率的影响,并对超声波辅助提取双孢菇多糖的工艺参数进行了优化。【结果】优化得到超声波辅助提取双孢菇多糖的最佳工艺参数为:超声波功率 560 W,超声波处理时间 120 min,超声波处理温度 60 ℃,液料比 40 mL/g。【结论】在优化的最佳工艺条件下,双孢菇多糖的提取率为 3.65%,较无超声波促进作用下普通工艺的多糖提取率提高了 96.24%。

【关键词】 超声波提取;双孢菇;多糖;工艺优化

【中图分类号】 TS201.1;S646.1⁺90.99 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2012)07-0215-06

Study on the polysaccharides extraction of *Agaricus bisporus* using ultrasonic

GAO Zhen-peng, YUAN Ya-hong, YUE Tian-li, YANG Hao-bo

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Study was made on the optimum technology of *Agaricus bisporus* polysaccharides extraction by using ultrasonic to lay the foundation for solving by-products reuse in the canning process. 【Method】 Using *Agaricus bisporus* canning by-products as raw materials, single factor experiment and orthogonal test were adopted to analyze the effect of each factor in solid-liquid ratio, ultrasonic power, extraction time and temperature on the extraction percentage of the polysaccharides using ultrasonic, and the process parameters were optimized. 【Result】 The results indicated that the optimum condition of extraction is as follows: liquid-solid ratio 40 mL/g, ultrasonic power 560 W, time 120 min and temperature 60 ℃. 【Conclusion】 Under this optimum condition, the extraction percentage of *Agaricus bisporus* polysaccharides reached 3.65%, which increased by 96.24% compared with the common technical yields.

Key words: ultrasonic extraction; *Agaricus bisporus*; polysaccharides; technology optimization

食用菌因营养价值高而深受消费者青睐,其中双孢菇被欧美国家称为“植物肉”、“上帝的食品”,目前已在全世界超过 100 个国家或地区广泛栽培,年

产量达到 250 多万 t^[1]。中国双孢菇产量已超过 156 万 t,其产量、加工量均居世界第一位^[2]。双孢菇罐头加工过程中产生了大量的菇根废弃物,不仅

* 【收稿日期】 2011-12-12

【基金项目】 农业部“948”项目(2011-G8-3);陕西省科技攻关项目(2011K17-05-01);西北农林科技大学基本科研业务费科技创新专项(QN2011136)

【作者简介】 高振鹏(1973—),男,甘肃白银人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事食品科学及安全控制研究。

E-mail:gzpl988@yahoo.com.cn

【通信作者】 岳田利(1965—),男,陕西宝鸡人,教授,博士,博士生导师,主要从事食品生物技术及食品安全控制研究。

E-mail:yuetl6503@nwsuaf.edu.cn

污染环境,而且造成资源的极大浪费。双孢菇中含有丰富的多糖,该多糖具有一定的抗癌、抗菌、抗氧化性及防止食品腐败等作用^[3-6]。目前,双孢菇多糖的提取有水提取法、辅助酶提取法、双水相提取法等^[3,7-8],而采用超声波提取双孢菇多糖的研究较少,且缺少对超声波辅助提取工艺参数的优化^[9]。因此,有必要对双孢菇罐头废弃物中的多糖进行超声波辅助提取方面的应用研究。

超声波处理技术被广泛应用于各种食品加工及危害物的降解领域^[10-11]。本试验以双孢菇罐头加工废弃物,即腌渍双孢菇菇根为原料,将水溶剂提取技术与超声波处理技术结合,研究超声波辅助作用对双孢菇多糖提取率的影响,旨在为双孢菇综合利用及双孢菇产品的深度开发提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料 双孢菇菇根,宝鸡爱姆食品有限公司提供,烘干至恒质量,粉碎过孔径 180 μm (80 目)的筛待用。

1.1.2 试剂 葡萄糖、无水乙醇、浓硫酸、苯酚(质量分数 5%)、正丁醇、氯仿等试剂,均为分析纯(AR)。

1.1.3 仪器与设备 FW80 微型高速粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司生产;KQ-700GVOV 型三频恒温数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司生产;JA2003 型电子分析天平,上海精密仪器厂制造;HH-56 型电热恒温水浴锅,国华电器有限公司生产;UV-2550 型紫外可见分光光度计,岛津公司生产;DGX-9143BC 型电热恒温鼓风干燥箱,上海福玛实验设备有限公司生产;PM180R 高速冷冻离心机,美国 SIM 公司生产。

1.2 方法

1.2.1 原料处理 (1)流程:原料→烘干至恒质量→粉碎→超声辅助提取→提取液离心、浓缩→醇析→去除游离蛋白→离心收集沉淀→干燥→多糖。

(2)操作要点:①原料的处理。先将双孢菇罐头加工过程中废弃的菇根洗干净,切成小块于 60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下干燥至恒质量,然后在粉碎机中粉碎后过孔径 180 μm (80 目)筛待用。②超声波辅助提取。准确称取一定量双孢菇粉末放入烧杯中,加适量的蒸馏水浸泡 30 min,然后将烧杯置于超声波处理装置中进行超声波处理。③离心与浓缩。提取液在离心机中以 4 500 r/min 的速度离心 15 min,得到上清液

后真空浓缩,浓缩至原体积的 1/5 左右。④醇析。在浓缩液中加入 3 倍体积 4 $^{\circ}\text{C}$ 体积分数 95% 的乙醇,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中放置 10 h,然后在离心机中以 4 500 r/min 的速度离心 15 min,弃上清液,得到多糖粗品。⑤Sevage 法除蛋白。取多糖粗品加蒸馏水重新溶解后,利用 Sevage 法^[12]去除多糖粗品中的蛋白质,即可得到双孢菇粗多糖产品。

1.2.2 葡萄糖标准曲线的制作^[13] 准确称取干燥(105 $^{\circ}\text{C}$)至恒质量的葡萄糖标准品 1.005 0 g,加蒸馏水溶解,并定容至 100 mL,混匀,该标准溶液的葡萄糖含量为 10.05 mg/mL。吸取上述标准溶液 2.00 mL,置于 100 mL 容量瓶中,定容至刻度,混匀,稀释后准标溶液的葡萄糖含量为 0.201 mg/mL,置冰箱中保存。

准确吸取葡萄糖标准溶液 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL (其中分别含葡萄糖 0, 0.040 2, 0.080 4, 0.120 6, 0.160 8, 0.201 0 mg),分别置于刻度试管中,加蒸馏水至 2.0 mL,加入 1 mL 质量分数 5% 苯酚溶液和 5 mL 浓硫酸,于旋转混匀器上混匀,静置 10 min 后,置沸水浴中煮沸 15 min,冷却后用分光光度计在 490 nm 波长处以空白溶液为参比,测定吸光度值。以吸光度为纵坐标,葡萄糖质量为横坐标,绘制标准曲线。

1.2.3 双孢菇粗多糖含量与葡萄糖含量间换算因子的计算^[14-15] 精确称取 50 mg 提取的双孢菇粗多糖,用少量 50 $^{\circ}\text{C}$ 热水完全溶解后,用蒸馏水定容至 100 mL。吸 0.5 mL 多糖液,加 1.5 mL 蒸馏水;另吸 2 mL 蒸馏水作空白对照。向两管内分别加入 1 mL 质量分数 5% 苯酚溶液和 5 mL 浓硫酸,静置 10 min 后,置沸水浴中煮沸 15 min,冷却后于 490 nm 下测吸光度 A ,用回归方程计算得到的粗多糖相当于葡萄糖含量 $C(\mu\text{g})$,按下式计算双孢菇粗多糖与葡萄糖之间的换算因子 F :

$$F = \frac{W_1}{C \times D}$$

式中: F 为换算因子, W_1 为双孢菇粗多糖的质量(μg), C 为双孢菇多糖液中的葡萄糖质量(μg), D 为双孢菇粗多糖的稀释倍数。最后求得 $F=5.170 6$ 。

双孢菇粗多糖提取率的计算公式为:

$$M = \frac{C \times D \times F}{W_0} \times 100\%$$

式中: M 为双孢菇粗多糖提取率, C 为粗多糖溶液中的葡萄糖质量(μg), D 为粗多糖稀释倍数, F 为换算因子, W_0 为供试样品的质量(μg)。

1.3 超声波辅助提取双孢菇多糖的单因素试验

1.3.1 液料比 称取 5 g 双孢菇粉末,倒入三角瓶,分别按照 20,30,40,50,60 mL/g 的溶剂体积与原料质量的比例加入蒸馏水,放置 30 min,在超声波功率 700 W、频率 45 kHz、提取温度 60 ℃的条件下处理 90 min,浸提液经离心得上清液,然后醇析、脱蛋白、干燥后,测定并计算双孢菇多糖的提取率。

1.3.2 超声波提取温度 称取 5 g 双孢菇粉末,倒入三角瓶,按照 40 mL/g 的液料比加入蒸馏水,放置 30 min,在超声波功率 700 W、频率 45 kHz 的条件下,分别按 40,50,60,70,80 ℃的超声波处理温度处理 90 min,浸提液经离心得上清液,然后醇析、脱蛋白、干燥后,测定并计算双孢菇多糖的提取率。

1.3.3 超声波提取时间 准确称取 5 g 双孢菇粉末,倒入三角瓶,按 40 mL/g 的液料比加入蒸馏水,放置 30 min,在超声波功率 700 W、频率 45 kHz、提取温度 60 ℃的条件下,对样品进行 30,60,90,120,150 min 的超声波处理,浸提液经离心得上清液,然

后醇析、脱蛋白、干燥后,测定并计算双孢菇多糖的提取率。

1.3.4 超声波功率 准确称取 5 g 双孢菇粉末,倒入三角瓶,按 40 mL/g 的液料比加入蒸馏水,放置 30 min,在 45 kHz 超声波频率和 60 ℃提取温度条件下,选取 420,490,560,630,700 W 的超声波功率对样品进行 90 min 的超声波处理,浸提液经离心得上清液,然后醇析、脱蛋白、干燥后,测定并计算双孢菇多糖的提取率。

1.4 超声波正交试验设计

在单因素试验的基础上,选择 4 因素 3 水平正交试验($L_9(3^4)$),综合考虑超声波功率、超声波提取时间、超声波提取温度、液料比对双孢菇多糖提取率的交互影响,确定超声波提取双孢菇多糖的最佳提取条件。正交试验因素和水平如表 1 所示。

1.5 数据处理

使用 Excel 和 SPSS 17.0 统计软件对试验数据进行处理与分析。

表 1 双孢菇多糖超声波提取的 $L_9(3^4)$ 正交试验因素和水平

水平 Level	因素 Factor			
	A 超声波功率/W Ultrasonic power	B 提取时间/min Time	C 提取温度/℃ Temperature	D 液料比/(mL·g ⁻¹) Liquid-solid ratio
1	560	60	50	20
2	630	90	60	30
3	700	120	70	40

2 结果与分析

2.1 葡萄糖标准曲线的绘制

根据葡萄糖质量与吸光度的关系绘制标准曲线,结果如图 1 所示。

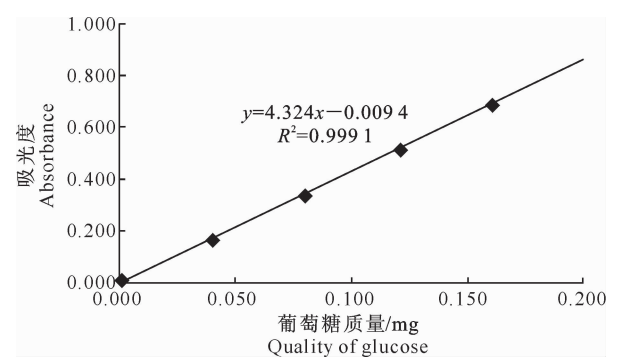


图 1 葡萄糖标准回归曲线

Fig.1 Standard regression curve of glucose

通过线性回归计算得回归方程为 $y = 4.324x - 0.0094$, 相关系数 $R^2 = 0.9991$, 说明葡萄糖质量与吸光度具有良好的线性关系。

2.2 液料比对双孢菇多糖提取率的影响

由图 2 可知,随着液料比的增大,双孢菇多糖的提取率逐渐增加,在液料比达到 40 mL/g 时,多糖提取率达到最大值,此时双孢菇多糖的提取率为 2.57%。当液料比超过 40 mL/g 时,双孢菇多糖的提取率呈下降趋势,这是因为液料比过大时,后续浓缩时间延长,容易使多糖中的糖蛋白发生变性并在脱蛋白时析出,从而导致粗多糖提取率下降。综合考虑,既要提高双孢菇多糖提取率,又要降低资源浪费,故本试验选择的最佳液料比为 40 mL/g。

2.3 超声波提取温度对双孢菇多糖提取率的影响

由图 3 可知,在提取温度为 40~60 ℃时,随着提取温度的升高,双孢菇多糖提取率逐渐增加,至 60 ℃时多糖提取率达到最大,此时的提取率为 3.26%。但当温度超过 60 ℃以后,多糖的提取率逐渐下降,其原因可能是随着提取温度的增加,多糖溶解度增大,从而有利于多糖的溶出;但随着温度的进一步升高,可能使一些多糖被高温破坏,从而导致多糖提取率下降。综合考虑,本试验选择的超声波提

取温度为 60 ℃。

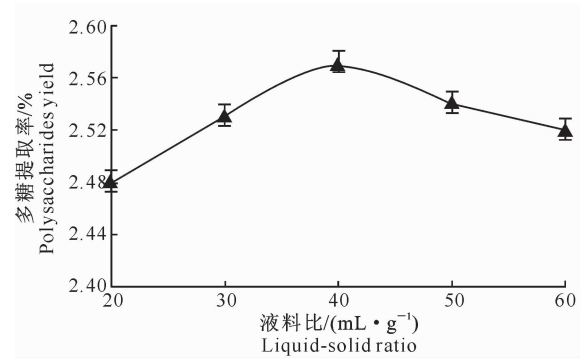


图 2 液料比对双孢菇多糖提取率的影响
Fig. 2 Effects of liquid-solid ratio on the extraction rate of *Agaricus bisporus* polysaccharides

2.4 超声波提取时间对双孢菇多糖提取率的影响

由图 4 可知,超声波提取时间对双孢菇多糖提取率也有明显的影响。当提取时间为 30~90 min 时,随着提取时间的延长,双孢菇多糖提取率逐渐增大;至 90 min 时,双孢菇多糖的提取率达到最大,为 2.63%;当提取时间为 90~150 min 时,双孢菇多糖提取率又呈下降趋势。这可能是由于随着提取时间

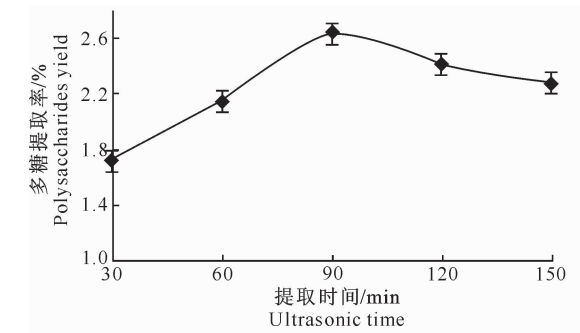


图 4 超声波提取时间对双孢菇多糖提取率的影响
Fig. 4 Effects of ultrasonic extraction time on the extraction rate of *Agaricus bisporus* polysaccharides

2.5 超声波功率对双孢菇多糖提取率的影响

由图 5 可知,当超声波功率为 420~630 W 时,随着功率的增大,双孢菇多糖提取率上升较快;当功率为 630 W 时,双孢菇多糖的提取率达到最大,为 3.3%;功率超过 630 W 时,双孢菇粗多糖提取率趋于平衡。通过试验发现,在试验选定的功率范围内,超声波功率越大,双孢菇多糖提取率越高,主要原因是超声波功率越大,空化作用和机械作用越强烈,分子扩散速度也就越快,渗出的双孢菇多糖就越多。综合考虑,本试验选择的超声波功率为 630 W。

2.6 超声波提取双孢菇多糖工艺条件的优化

超声波辅助提取双孢菇多糖提取工艺优化的 $L_9(3^4)$ 正交试验结果见表 2。由表 2 可知,影响超

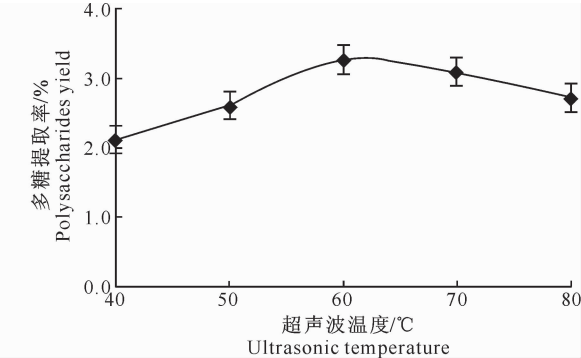


图 3 超声波提取温度对双孢菇多糖提取率的影响
Fig. 3 Effects of ultrasonic extraction temperature on the extraction rate of *Agaricus bisporus* polysaccharides

的延长,在 90 min 左右溶液体系的渗透压达到了平衡,当超声波处理时间超过 90 min 后,由于超声波的机械剪切作用导致部分多糖降解,从而使多糖提取率下降。为了提高产品的得率和缩短提取时间,工业生产应控制较佳的超声波提取时间,本试验选择的超声波提取时间为 90 min。

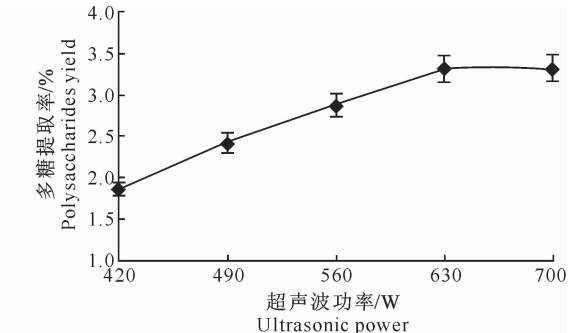


图 5 超声波功率对双孢菇多糖提取率的影响
Fig. 5 Effects of ultrasonic power on the extraction rate of *Agaricus bisporus* polysaccharides

声波辅助提取双孢菇多糖的各因素的主次顺序为液料比>超声波提取时间>超声波功率>超声波提取温度,最佳工艺条件组合为 $A_1B_3C_2D_3$,即超声波功率为 560 W,超声波提取时间为 120 min,超声波提取温度 60 ℃,液料比为 40 mL/g。利用 SPSS 17.0 软件对表 2 数据进行分析,结果(表 3)表明,液料比、超声波提取时间、超声波功率、超声波提取温度对双孢菇多糖的提取率均有极显著影响($P < 0.01$)。为了验证所得结论的正确性,选择正交试验中双孢菇多糖提取率最高的 3 号试验与最佳组合条件进行双孢菇多糖提取率的对照试验,结果可得双孢菇多糖的提取率分别为 3.37% 和 3.68%,可见在最佳组合条件下双孢菇多糖的提取率高于 3 号试验

条件下的双孢菇多糖提取率,说明通过正交试验优选的超声波提取条件是正确可靠的。

表 2 双孢菇多糖超声波提取工艺 L₉(3⁴) 正交试验结果与分析

Table 2 Results of L ₉ (3 ⁴) orthogonal test on the ultrasonic extraction of <i>Agaricus bisporus</i> polysaccharides					
试验序号 No.	A 超声波功率/W Ultrasonic power	B 超声波提取时间/min Ultrasonic time	C 超声波提取温度/℃ Ultrasonic temperature	D 液料比/(mL·g ⁻¹) Liquid-solid ratio	提取率/% Polysaccharides yield
1	560	60	50	20	1.95±0.27
2	560	90	60	30	3.13±0.16
3	560	120	70	40	3.26±0.08
4	630	60	60	40	2.53±0.16
5	630	90	70	20	2.38±0.01
6	630	120	50	30	2.52±0.14
7	700	60	70	30	2.33±0.08
8	700	90	50	40	2.49±0.03
9	700	120	60	20	2.37±0.08
K ₁	8.34	6.81	6.96	6.70	
K ₂	7.43	8.00	8.03	7.98	
K ₃	7.19	8.15	7.97	8.28	
R	0.38	0.45	0.36	0.53	
因素主次 Compositor of factors	D>B>A>C				
最优水平 Optimum level	A ₁	B ₃	C ₂	D ₃	

表 3 L₉(3⁴)正交试验结果重复试验的方差分析

Table 3 Tests of between-subjects effects based on L ₉ (3 ⁴) orthogonal tests					
变异来源 Source	三类平方差 Type III sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 Sig.
校正模型 Corrected model	2.630 ^a	8	0.329	18.131	0
截距 Intercept	117.147	1	117.147	6460.314	0
超声波功率 Ultrasonic power	0.491	2	0.245	13.531	0.002
超声波时间 Ultrasonic time	0.719	2	0.359	19.817	0.001
温度 Ultrasonic temperature	0.482	2	0.241	13.288	0.002
液料比 Liquid-solid ratio	0.939	2	0.469	25.887	0
误差 Error	0.163	9	0.018		
总变异 Total	119.940	18			
校正总变异 Corrected total	2.793	17			

注:a. 决定系数 $R^2=0.942$,校正决定系数 $R^2_{\text{adj}}=0.890$ 。
Note:a. R Squared $R^2=0.942$, Adjusted R Squared $R^2_{\text{adj}}=0.890$.

利用文献[7]的普通提取条件,即在提取温度 72℃、浸提时间 125 min、液料比 31 mL/g 的提取条件进行双孢菇多糖的提取,并与本研究正交试验优选的超声波辅助提取条件进行了 3 次双孢菇多糖提取的对比试验,其结果见表 4。

表 4 不同方法提取双孢菇多糖提取率的比较

Table 4 Comparison between the ultrasonic method and the traditional method				%
提取方法 Extraction method	重复次数 Repeat time			平均值 Average
	1	2	3	
普通工艺 Extraction of general process	1.93	1.82	1.83	1.86
超声波辅助 Extraction of ultrasonic-assisted process	3.63	3.70	3.62	3.65

由表 4 可知,与普通提取工艺相比,超声波辅助提取双孢菇多糖的提取率从 1.86% 上升至 3.65%,提高了 96.24%,提高效果十分明显。由此可见,双孢菇多糖的超声波辅助提取处理工艺优于普通提取工艺。

3 结 论

优化的双孢菇多糖超声波提取的工艺参数为:超声波功率 560 W,超声波提取时间 120 min,超声波提取温度 60℃,液料比 40 mL/g,在此条件下,超

声波辅助提取双孢菇多糖的提取率为 3.65%,较普通提取方法的多糖提取率提高了 96.24%,为双孢菇废弃物的综合利用及双孢菇多糖提取的工业化生产提供了依据。

[参考文献]

- [1] 班立桐,吴 疆,杨红澎. 双孢菇中活性成分与保鲜技术的研究进展 [J]. 食品研究与开发,2010,31(4):185-186.
Ban L T, Wu J, Yang H P. Research development of active ingredient and refreshment technique of *Agaricus bisporus* [J]. Food Research and Development, 2010, 31(4):185-186. (in Chinese)
- [2] 李万德,何利华,施金山. 对发展双孢蘑菇产业的几点思考 [J]. 湖北生态工程职业技术学院学报,2008,6(2):14-16.
Li W D, He L H, Shi J S. Some thoughts on development of *Agaricus bisporus* produce industry [J]. Journal of Hubei Vocational College of Ecological, 2008, 6(2):14-16. (in Chinese)
- [3] 吴 疆,班立桐. 应用双水相萃取技术提取双孢蘑菇多糖的研究 [J]. 食品研究与开发,2011,32(7):4-7.
Wu J, Ban L T. Application research of extract *Agaricus bisporus* polysaccharides by aqueous two-phase extraction [J]. Food Research and Development, 2011, 32(7):4-7. (in Chinese)
- [4] 韦保耀,余小影,黄 丽,等. 双孢蘑菇多糖抗菌活性及对食品腐败抑制的研究 [J]. 食品科技,2007(4):93-95.
Wei B Y, Yu X Y, Huang L, et al. *Agaricus bisporus* (Lange) sing polysaccharide anti-bacterial reactive and to curb corruption in the food research [J]. Food Science and Technology, 2007(4):93-95. (in Chinese)
- [5] 危贵茂,付桂荣,袁 诚,等. 菌类食品的功能特性及开发前景 [J]. 食品研究与开发,2006,27(2):94-95,98.
Wei G M, Fu G R, Yuan C, et al. Functional characteristics and developmental prospects of food made from mushroom kinds [J]. Food Research and Development, 2006, 27(2):94-95, 98. (in Chinese)
- [6] 徐朝晖,姜世明,付培武. 双孢蘑菇子实体多糖的提取及其对癌细胞的抑制 [J]. 中国食用菌,1998,16(4):5-7.
Xu Z H, Jiang S M, Fu P W. Isolation of polysacchrides from the bodies of *Agaricus bisporus* sing and its inhibitory on human hepatoma SMMC-7721 cells [J]. Edible Fungi of China, 1998, 16(4):5-7. (in Chinese)
- [7] 熊 泽,邵 伟,黄 艺. 双孢蘑菇多糖提取工艺优化研究 [J]. 三峡大学学报:自然科学版,2007,29(4):367-340.
Xiong Z, Shao W, Huang Y. Study on optimization of extractive craft for *Agaricus bisporus* polysaccharide by RSM [J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences Edition, 2007, 29(4):367-340. (in Chinese)
- [8] 邹 伟,张宝善,李 冰,等. 水浴振荡辅助酶法提取双孢蘑菇多糖的工艺研究 [J]. 食品工业科技,2011,32(5):223-224, 334.
Zou W, Zhang B S, Li B, et al. Study on extraction of polysaccharides from *Agaricus bisporus* by shaking bath-assisted enzymatic mothod [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(5):223-224, 334. (in Chinese)
- [9] 王鸿磊,王红艳,丁 强,等. 响应面法优化双孢菇柄多糖的提取工艺研究 [J]. 北方园艺,2010(22):163-166.
Wang H L, Wang H Y, Ding Q, et al. Study on optimization of extraction of polysaccharide from the root of *Agaricus bisporus* stipe using response surface method [J]. Northern Horticulture, 2010(22):163-166. (in Chinese)
- [10] 高振鹏,岳田利,袁亚宏,等. 超声波强化有机溶剂提取石榴籽油的工艺优化 [J]. 农业机械学报,2008,39(5):77-80.
Gao Z P, Yue T L, Yuan Y H, et al. Technology optimization on extracting pomegranate seed oil using organic solvent assisted by ultrasound [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5):77-80. (in Chinese)
- [11] 高振鹏,岳田利,袁亚宏,等. 苹果汁中展青霉素的超声波降解 [J]. 农业机械学报,2009,40(9):139-143.
Gao Z P, Yue T L, Yuan Y H, et al. Ultrasonic degradation of patulin in apple juice [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9):139-143. (in Chinese)
- [12] 乔德亮,陈乃富,张 莉,等. 双孢蘑菇子实体多糖提取条件优化及部分特性研究 [J]. 食品与发酵工业,2011,37(2):195-199.
Qiao D L, Chen N F, Zhang L, et al. Optimization of extraction parameters and preliminary feature of polysaccharides from sporocarp of *Agaricus bisporus* [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(2):195-199. (in Chinese)
- [13] 李明元. 真菌粗多糖测定方法的研究 [J]. 食品研究与开发,2007,28(5):118-120.
Li M Y. A study on determination methods of crude epiphyte polysaccharides [J]. Food Research and Development, 2007, 28(5):118-120. (in Chinese)
- [14] 张 桂,赵国群. 超声波萃取植物多糖的研究 [J]. 食品科学,2005,26(9):302-305.
Zhang G, Zhao G Q. The studied of extracting lycium barbarum polysaccharide by ultrasound [J]. Food Science, 2005, 26(9):302-305. (in Chinese)
- [15] 王 萍,李德海,孙莉洁,等. 超声波辅助法提取滑菇多糖的工艺研究 [J]. 中国食品学报,2008,8(2):84-88.
Wang P, Li D H, Sun L J, et al. Studies on ultrasound supplementary extraction technology of *Nameko philiota* polysaccharide [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(2):84-88. (in Chinese)