

DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2012.01.006

白玉菇液体发酵菌丝体生长和产胞外多糖培养基的优化

方璐, 齐秋月, 李滨, 贾泽峰*

(山东农业大学生命科学学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 白玉菇液体发酵培养基的最优配方可为白玉菇工业扩大培养提供基础资料。以葡萄糖、酵母粉、 KH_2PO_4 和 MgSO_4 为主要因素, 选择胞外多糖含量和菌丝体生物量为试验指标, 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验进行液体发酵培养基的优化。通过抽滤分离菌丝体, 烘干称重, 计算菌丝体生物量; 用苯酚-硫酸法测定胞外多糖含量。试验测得通过对试验结果进行综合加权评分, 确定了白玉菇液体培养基的最优配方为葡萄糖 3%、酵母粉 0.15%、 KH_2PO_4 0.30%、 MgSO_4 0.20%。

关键词: 白玉菇; 菌丝体生物量; 胞外多糖; 正交试验; 加权评分法

中图分类号: Q815 文献标识码: A 文章编号: 1002-4026(2012)01-0024-08

Mycelial growth of fermentation medium of white *Hypsizigus marmoreus* and the optimization of exopolysaccharides medium

FANG Lu, QI Qiu-yue, LI Bin, JIA Ze-feng*

(School of Life Sciences, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: The optimum liquid medium of white *Hypsizigus marmoreus* can provide the fundamental data for its extensive cultivation. We optimized fermentation medium with $L_9(3^4)$ orthogonal test, the main ingredients of glucose, yeast powder, KH_2PO_4 and MgSO_4 , and exopolysaccharides content and mycelial biomass as test indexes. We also separated mycelia by extraction and filtering, dried and weighted them, and calculated their biomass. Phenol-sulfuric acid was then employed to determine the content of exopolysaccharides. Weighted evaluation of exopolysaccharides content and mycelial biomass shows that the optimum liquid medium is composed of glucose of 3%, yeast powder of 0.15%, KH_2PO_4 of 0.30% and MgSO_4 of 0.20%.

Key words: white *Hypsizigus marmoreus*; mycelial biomass; exopolysaccharides; orthogonal test; weighted mark method

白玉菇, 又称白色真姬菇 (white *Hypsizigus marmoreus*), 是真姬菇 (*Hypsizigus marmoreus*) 的一个白色变种, 菌体洁白、菌肉肥厚、质地脆嫩、味道鲜美, 含有丰富的营养成分^[1], 是一种深受国内外市场欢迎的优良珍稀食用菌。

研究发现真姬菇具有抗肿瘤^[2-3]、抗真菌和抑制恶性细胞增殖^[4]、清除自由基^[5]等特性, 且主要集中在它的子实体提取物上。Wong J. H. 等^[6-7]从子实体提取得到的几种核糖体抑制蛋白分别具有抗真菌、防止恶性细胞扩散、抑制 HIV-1 逆转录酶活性的能力, 而且, 真菌多糖和菌丝体均表现出真姬菇的药学活性。由

收稿日期: 2011-09-20

基金项目: 国家大学生创新性实验计划项目 (091043426)

作者简介: 方璐 (1990 -), 女, 研究方向为真菌资源开发与利用。Email: ilfanglu@163.com

* 通讯作者: 贾泽峰 (1970 -), 男, 副教授, 研究方向为真菌资源开发与利用。Email: zjia@sdau.edu.cn

此可以推断,白玉菇也具有相应的药理学特性,而且最近的研究^[8]也表明白玉菇的菌丝体和热水浸提物(主要作用成分为真菌多糖)具有鲜明的抗氧化特性。另外, Lee Y. L. 等^[9]的研究表明白玉菇子实体和菌丝体中的总糖和多元醇含量明显高于普通真姬菇,所以,在对有效成分的研究利用上,白玉菇更具有该方面的优势。白玉菇直接食用不易充分发挥真菌多糖的功效,只有将其有效成分提取、浓缩和纯化,才能提高功效^[10]。由于白玉菇子实体培养周期较长^[11],不适合用作真菌多糖的大规模提取,而其在液体发酵过程中可获得具有药理活性的菌丝体和胞外多糖,周期短,便于工业化生产,具有很广阔的市场应用前景。但目前对于白玉菇液体发酵培养的研究还鲜有报道,鉴于此,本文以白玉菇胞外多糖和菌丝体生物量为指标,对其液体培养基成分进行正交优化试验,筛选出深层发酵培养基的最优配方,旨在为白玉菇液体发酵的工厂化生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料与菌种

1.1.1.1 原料

马铃薯、棉籽壳、麦麸、石灰、石膏,市购; KH_2PO_4 (分析纯)、 MgSO_4 (分析纯)、葡萄糖(分析纯)、苯酚(分析纯)、蛋白胨(天津市凯通化学试剂有限公司); 酵母浸粉(BR,北京奥博生物技术有限公司); 浓硫酸(分析纯,莱阳市康德化工有限公司)。

1.1.1.2 菌种

由山东农业大学真菌资源及其利用实验室对山东省徂徕山白玉菇组织分离、鉴定所得。

1.1.2 培养基

1.1.2.1 母种培养基

马铃薯 20%, 葡萄糖 2%, 蛋白胨 0.5%, KH_2PO_4 0.1%, MgSO_4 0.1%, VB_1 10 mg/L, 琼脂 2%。

1.1.2.2 液体摇瓶培养基

马铃薯 20%, 麦麸滤液 3%, 葡萄糖 2%, 蛋白胨 0.15%, 酵母粉 0.15%, KH_2PO_4 0.25%, MgSO_4 0.15%, VB_1 10 mg/L。

1.1.2.3 棉籽壳培养基

棉籽壳 78%, 麦麸 20%, 石灰 1%, 石膏 1%。

1.1.2.4 单因素试验培养基

根据单因素试验设计分别添加适量的碳源、氮源和无机盐,具体配制内容见 1.4。

1.1.2.5 正交试验培养基

马铃薯 20%, 麦麸滤液 3%, 葡萄糖、酵母粉、 KH_2PO_4 、 MgSO_4 各有 3 个水平,含量见表 1。

1.1.3 仪器与设备

HZQ-Q 全温振荡器(东联电子技术开发有限公司); Speetrumlab 22PC 可见光光度计(上海棱光技术有限公司); LXJ-II B 低速离心机(上海安亭科学仪器厂); HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); 旋转蒸发器(上海大颜仪器设备有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 母种培养基制备

同常规。

1.2.2 组织分离

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验因素水平

Table 1 Factor levels of $L_9(3^4)$ orthogonal test

水平	因素			
	A 葡萄糖含量	B 酵母粉含量	C KH_2PO_4 含量	D MgSO_4 含量
1	1%	0.15%	0.10%	0.10%
2	2%	0.25%	0.20%	0.20%
3	3%	0.35%	0.30%	0.30%

用 70% 乙醇擦拭所得徂徕山白玉菇子实体表面,分离菌盖与菌柄,用无菌镊子撕取该分离界面处的小块组织,接种于母种培养基上,26 ℃ 下培养 12 d 左右,待菌丝萌发成熟,即可转接保藏菌种^[12]。

1.2.3 液体种的制备

从斜面上取母种块接种于摇瓶中。26 ℃ 静置 24 h 后置于 26 ℃,160 r/min 的旋转式摇床上培养 7 d(该发酵终止时间可由 2.1 得到)。

1.2.4 菌种栽培验证

在无菌条件下,打开袋装棉籽壳培养基的一端,用接种耙在培养基上搔出缝隙,将液体种接种于棉籽壳上,接种以菌丝体为主。

1.2.5 接种摇瓶试验

同液体种制备的方法。

1.3 白玉菇液体发酵终止时间确定

将白玉菇液体种连续培养,从第 1 天开始测定其胞内多糖和胞外多糖含量^[13]。

1.4 发酵培养基单因素试验

1.4.1 碳源的选择

考察葡萄糖、蔗糖、乳糖、可溶性淀粉 4 种碳源对白玉菇液体发酵的影响,确定出最佳碳源。试验以马铃薯 20%,麦麸滤液 3%,蛋白胨 0.15%, KH_2PO_4 0.25%, MgSO_4 0.15% 的基本培养基中分别加入 2% 的葡萄糖、蔗糖、乳糖、可溶性淀粉及不加另外碳源作为碳空白对照。

之后对筛选出的最佳碳源进行浓度添加试验,以确定最佳水平范围。

1.4.2 氮源的选择

考察牛肉膏、蛋白胨、酵母膏、酵母粉 4 种有机氮源对白玉菇液体发酵的影响,确定出最佳氮源。试验以马铃薯 20%,麦麸滤液 3%,葡萄糖 2%, KH_2PO_4 0.25%, MgSO_4 0.15% 培养基中分别加入 0.15% 的牛肉膏、蛋白胨、酵母膏、酵母粉及不加另外氮源作为有机氮空白对照。

之后对筛选出的最佳氮源进行浓度添加试验,以确定最佳水平范围。

1.4.3 无机盐的选择

分别考察 KH_2PO_4 、 MgSO_4 两种无机盐的添加量对白玉菇液体发酵的影响。

试验以 KH_2PO_4 的不同添加量为变量(其他营养成分同 1.1.2.2):0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3%、0.35%,以确定最佳水平范围。

试验以 MgSO_4 的不同添加量为变量(其他营养成分同 1.1.2.2):0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3%、0.35%,以确定最佳水平范围。

1.5 试验指标检测

1.5.1 菌丝体生物量测定

将发酵液抽滤,分离菌丝体和发酵液,放入 60 ℃ 烘箱中烘干至恒重,并记录^[14]。

1.5.2 胞外多糖测定

将抽滤得到的发酵液浓缩,加入 3 倍体积的 95% 乙醇,于 4 ℃ 下沉淀 24 h 以上。4200 r/min 条件下离心 10 min,弃去上清液,在室温下干燥 10 min,使剩余乙醇挥发完全,再用一定体积的去离子水溶解该沉淀物,即得白玉菇胞外多糖溶液,采用苯酚-硫酸测定该真菌多糖含量,所采用的葡萄糖标准曲线^[15]为本实验室综合多次实验得出的公式: $y = 0.0146x + 0.009$, $R^2 = 0.993$ 。

1.5.3 胞内多糖测定

精确称取已研磨好的干菌丝,按加水比 50:1(1 g 干菌丝加入 50 mL 水)加入去离子水,摇匀后,85 ℃ 恒温水浴浸提 2 h 后取出,用滤纸过滤,残渣再重新提取一次,合并提取液,提取液直接经醇沉法制得白玉菇胞

内多糖溶液^[16]。

1.6 正交设计

在前期单因子试验的基础上,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验进行白玉菇液体培养基的优化^[17],选取葡萄糖含量(A)、酵母粉含量(B)、 KH_2PO_4 含量(C)、 $MgSO_4$ 含量(D)4 个因素(见表 1),筛选四者之间的最优搭配,其中胞外多糖含量和生物量这两个试验指标对应的每个组合分别设置 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 白玉菇液体发酵终止时间确定

发酵初期,由于配制培养基时加入葡萄糖,采用苯酚-硫酸法测得的糖含量无法排除这部分影响,多糖含量呈现较高水平。由图 1 可知,3~6 d 胞外多糖含量逐渐下降,胞内多糖含量变化不明显,说明该阶段为菌体利用外源糖进行同化作用,菌丝体不断形成,并开始合成真菌多糖,部分多糖分泌到发酵液中即为胞外多糖,菌丝体内的胞内多糖呈现稳定水平。6 d 以后,胞外多糖含量升高,胞内多糖含量降低,说明大量真菌多糖开始分泌到胞外,菌丝体出现自溶。继续发酵可能会有代谢废物的积累,对菌体有毒害作用,故本实验选定 7 d 为白玉菇液体发酵的终止时间,胞外多糖含量有较高水平,且菌丝体有一定的积累。

2.2 发酵培养基单因素试验结果

2.2.1 碳源对白玉菇液体发酵的影响

碳源对菌丝体生物量和胞外多糖含量的影响见图 2~3。由图 2 可知,外加不同碳源的白玉菇液体培养基,其多糖含量都比空白组多糖含量有显著的增加,其中葡萄糖>乳糖>蔗糖>可溶性淀粉。就图 3 菌丝体生长而言,葡萄糖也是最好的碳源,其次是可溶性淀粉和蔗糖,但如图 4 所示,不同葡萄糖浓度对菌丝体生物量作用并无明显规律。综合上述两种因素的分析结果,后续研究选用葡萄糖作为外加碳源。

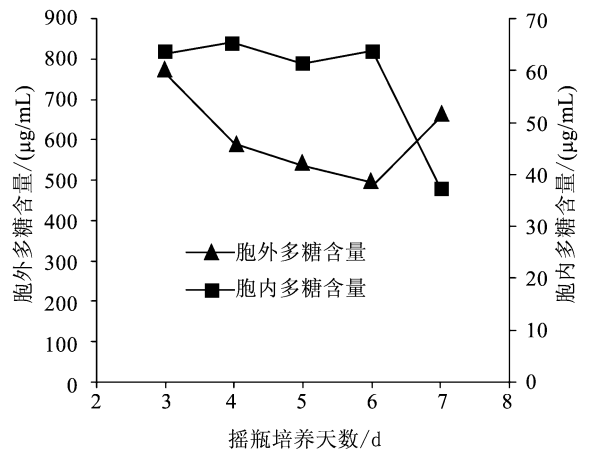


图 1 白玉菇不同发酵天数胞内、胞外多糖含量

Fig. 1 The contents of exopolysaccharides and inopolysaccharides of white *Hypsizigus marmoreus* corresponding to different fermentation times

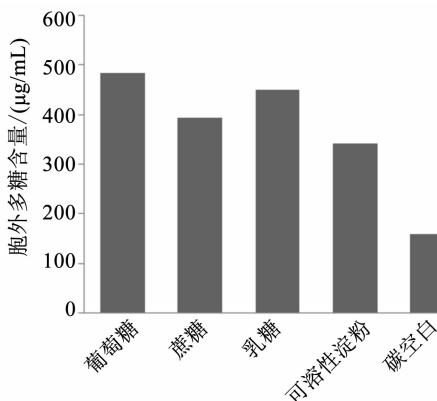


图 2 碳源对胞外多糖含量的影响

Fig. 2 Effect of carbon source on the content of exopolysaccharides

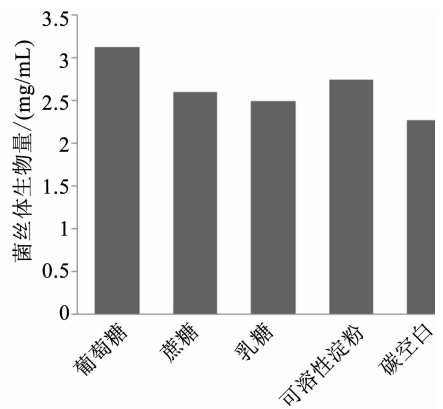


图 3 碳源对菌丝体生物量的影响

Fig. 3 Effect of carbon source on mycelia biomass

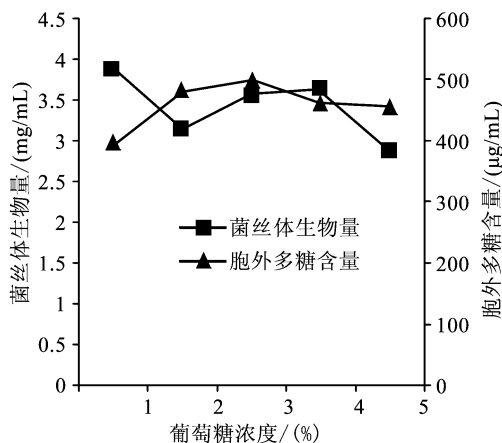


图4 不同葡萄糖浓度对白玉菇菌丝体和胞外多糖液体发酵的影响

Fig.4 Effect of different glucose concentrations on liquid fermentation medium of mycelial biomass and exopolysaccharides of white *Hypsizigus Marmoreus*

2.2.2 氮源对白玉菇液体发酵的影响

氮源对胞外多糖含量和菌丝体生物量的影响见图5~6。由图5可见,以胞外多糖含量为试验指标时,最佳氮源为酵母粉,多糖含量可达851.88 $\mu\text{g}/\text{mL}$,其次为蛋白胨,而牛肉膏和酵母膏对多糖合成影响作用很小,可能是含有某种未知成分抑制白玉菇多糖生成。但就图6菌丝体而言,蛋白胨最有利于菌丝体的生长,可能是蛋白胨中含有丰富的生长因子促进了白玉菇菌丝体的生长。图7为酵母粉浓度对白玉菇菌丝体生长和胞外多糖含量的影响,可以看出,酵母粉浓度对菌丝体生物量影响不大,但对胞外多糖含量影响显著。综合多糖和菌丝体生物量,酵母粉和蛋白胨对菌丝体的影响差异较小,但多糖差异显著,故后续研究选用酵母粉作为外加氮源。

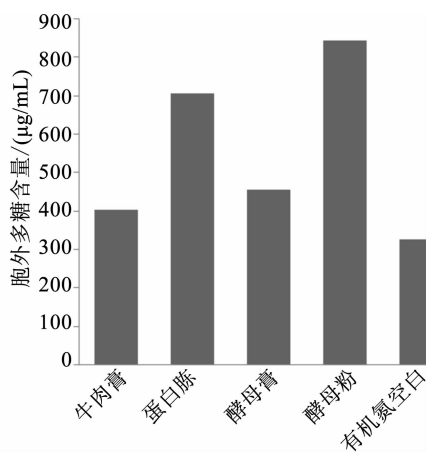


图5 氮源对胞外多糖含量的影响

Fig.5 Effect of nitrogen source on the content of exopolysaccharides

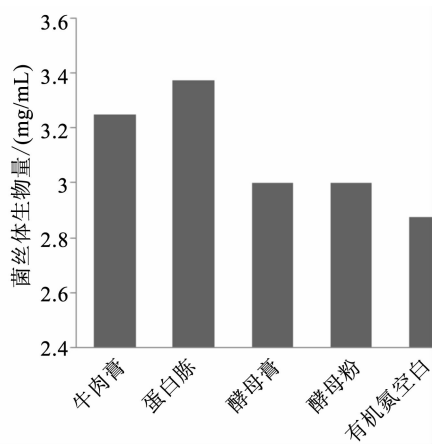


图6 氮源对菌丝体生物量的影响

Fig.6 Effect of nitrogen source on mycelia biomass

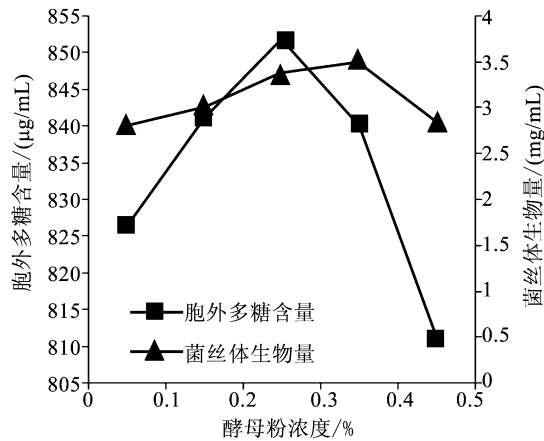


图 7 不同酵母粉浓度对白玉菇菌丝体和胞外多糖液体发酵的影响

Fig. 7 Effect of different yeast powder concentrations on liquid fermentation medium of mycelial biomass and exopolysaccharides of white *Hypsizigus Marmoreus*

2.2.3 无机盐对白玉菇液体发酵胞外多糖的影响

无机盐的影响见图 8~9。由图 8 可知, $MgSO_4$ 含量在 0.1% ~0.3% 范围内, 发酵液多糖含量变化趋势不明显, 菌丝体生物量变化趋势略有差异, $MgSO_4$ 含量为 0.2% 时, 菌丝体生物量和多糖均处于较高水平。图 9 表明 KH_2PO_4 含量在 0.1% ~0.3% 范围内, 其发酵液多糖处于最优区域内, 菌丝体生物量也处于较高水平。

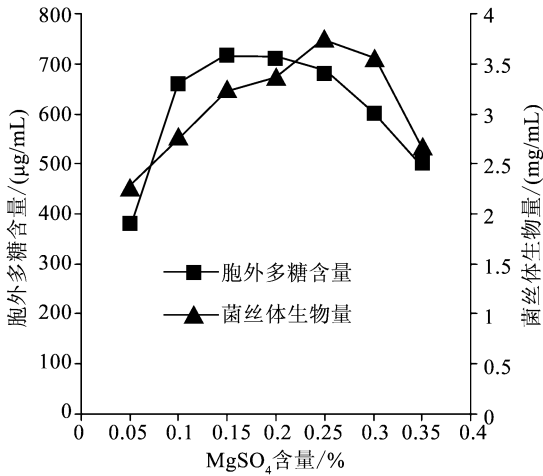


图 8 不同 $MgSO_4$ 浓度对白玉菇菌丝体和胞外多糖液体发酵的影响

Fig. 8 Effect of different $MgSO_4$ concentrations on liquid fermentation medium of mycelial biomass and exopolysaccharides of white *Hypsizigus Marmoreus*

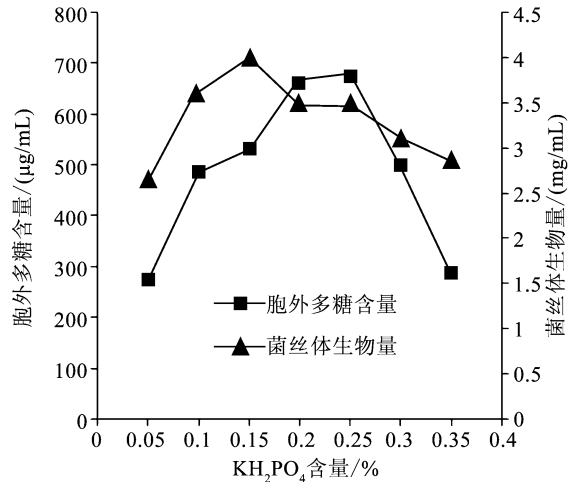


图 9 不同 KH_2PO_4 浓度对白玉菇菌丝体和胞外多糖液体发酵的影响

Fig. 9 Effect of different KH_2PO_4 concentrations on liquid fermentation medium of mycelial biomass and exopolysaccharides of white *Hypsizigus Marmoreus*

2.3 以白玉菇液体发酵胞外多糖含量和菌丝体生物量为指标的正交试验结果

根据测得的胞外多糖含量和菌丝体生物量, 分别对这两个试验指标的数据进行处理, 以各自获得的最小值为 0 分, 最高值为 1 分, 依次为各自三组重复试验结果给予打分, 对胞外多糖含量和菌丝体生物量进行加权评分^[19], 胞外多糖含量所占权重系数为 0.5, 菌丝体生物量权重系数为 0.5, 利用如下公式, 计算最后综合得分: $Y = 0.5y_1 + 0.5y_2$, (y_1 为胞外多糖含量加权得分, y_2 为菌丝体生物量加权得分), 结果见表 2, 再利用统计学进行方差运算处理, 结果见表 3。

表2 $L_9(3^4)$ 正交试验设计与结果Table 2 Design and results of $L_9(3^4)$ orthogonal test

试验号	因素				评分			
	A	B	C	D	I	II	III	Tt
1	1	1	1	1	0.4780	0.0707	0.6904	1.2390
2	1	2	2	2	0.3308	0.2938	0.2828	0.9073
3	1	3	3	3	0.1681	0.0694	0.0000	0.2375
4	2	1	2	3	0.3519	0.2523	0.2379	0.8420
5	2	2	3	1	0.1500	0.2114	0.2273	0.5888
6	2	3	1	2	0.6897	0.5634	0.4460	1.6991
7	3	1	3	2	0.6695	0.7055	0.7694	2.1444
8	3	2	1	3	0.6683	0.6872	0.7618	2.1173
9	3	3	2	1	0.5595	0.4841	0.4978	1.5415
K_{1j}	2.384	4.225	5.055	3.369	Tr	4.0658	3.3378	3.9134
K_{2j}	3.130	3.613	3.291	4.751	(注:Tr 为每组重复实验的评分加和)			
K_{3j}	5.803	3.478	2.971	3.197				
$\overline{K_{1j}}$	0.265	0.469	0.562	0.374				
$\overline{K_{2j}}$	0.348	0.401	0.366	0.528				
$\overline{K_{3j}}$	0.645	0.386	0.330	0.355				
R_j	0.380	0.083	0.232	0.173				

表3 $L_9(3^4)$ 正交试验方差分析Table 3 Anova of $L_9(3^4)$ orthogonal test

变异来源	SS	df	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	显著性评价
区组间	0.0328	2	0.0164	1.1146	3.63	6.23	不显著
A	0.7183	2	0.3592	24.4413	3.63	6.23	极显著
B	0.0352	2	0.0176	1.1991	3.63	6.23	不显著
C	0.2801	2	0.1400	9.5303	3.63	6.23	极显著
D	0.1613	2	0.0806	5.4867	3.63	6.23	显著
模型误差(e_1)	0.0000	0					
重复误差(e_2)	0.2351	16	0.0147				
合并误差	0.2351						
总变异	1.4628						

2.4 正交试验结果与分析

由表2可知,A因素(葡萄糖)的 R 值最大,C因素(KH_2PO_4)的 R 值较小,D因素(MgSO_4)的 R 值次之,B因素(酵母粉)的 R 值最小,主要因素由大到小为 $A > C > D > B$ 。由此可以判断,葡萄糖对白玉菇液体发酵的影响最大,酵母粉的影响最小。

由表3的方差分析可知, F 检验中, $F_A = 24.4413$, $F_C = 9.5303$,均大于 $F_{0.01} = 6.23$,说明葡萄糖和 KH_2PO_4 对白玉菇液体发酵的影响均达到极显著水平。

为了进一步说明同一因素不同水平间的差异性,又对其不同水平间采用 q 检验法,进行多重比较,结果见表4和表5。由表2和表5可知A因素的 $K_3 > K_2 > K_1$,所以A因素的最优水平为 A_3 ;同理C因素的最优水平为 C_1 ,B因素的最优水平为 B_1 ,D因素的最优水平为 D_2 。故最佳理论组合为 $A_3B_1C_1D_2$ 。同时,以白玉菇液体发酵胞外多糖含量为指标的正交试验结果表明 $A_3B_1C_3D_2$ 组合为最优, KH_2PO_4 含量在0.1%~0.3%范围内,其发酵液多糖、菌丝体生物量随浓度增高而增长,故白玉菇液体培养基的最优组合为 $A_3B_1C_3D_2$ 。

表 4 多重比较用 q 及 LSR 值Table 4 q and LSR values of multiple comparisons

秩次距 K	SS	2	3	4
q 值	0.05	3.00	3.65	4.05
	0.01	4.13	4.79	5.19
LSR 值	0.05	0.1212	0.1475	0.1636
	0.01	0.16685	0.1935	0.2097

$$S_x^- = \sqrt{\frac{MS_e}{m \times r}} = \sqrt{0.0147/9} = 0.0404$$

表 5 指标 A 因素各水平多重比较Table 5 Multiple comparisons (LSR) of factor A

A	A_3	A_2	A_1
平均值	0.645	0.348	0.265
5% 显著性	a	b	b
1% 显著性	A	B	B

(注:大写拉丁字母表示显著水平 $\alpha = 1\%$ 上的差异;小写拉丁字母表示显著水平 $\alpha = 5\%$ 上的差异)

3 结果与讨论

通过以上试验和分析可知,以胞外多糖含量和菌丝体生物量为试验指标得到的白玉菇液体培养基的最优配方为葡萄糖 3%、酵母粉 0.15%、 KH_2PO_4 0.30%、 MgSO_4 0.20%。对胞外多糖含量和菌丝体生物量两项试验指标测定获得的数据,均以各自获得的最小值为 0 分,最高值为 1 分,使得两项指标因素对提取工艺误差影响减小,再进行加权平均求和。这种分析方法既保证了数据指标的全面性,又考虑到了各指标不同影响程度带来的误差,使分析结果更为科学和客观,保证了白玉菇液体发酵培养基配方的合理、可信,根据试验中获得的指标数据范围指导实际生产,在保证产品深层发酵效率的同时使各培养基成分获得了最大利用率,为白玉菇的工业化扩大培养提供了理论数据。

参考文献:

- [1]王耀松,邢增涛,白冰,等. 白玉蕈营养成分的测定[J]. 西北农业学报,2006,15(5):222-224,228.
- [2]IKEKAWA T, SAITOH H, FENG W, et al. Antitumor activity of *Hypsizigus marmoreus*. I. Antitumor activity of extracts and polysaccharides[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin,1992, 40(7): 1954-1957.
- [3]TSUCHIDA K, AOYAGI Y, ODANI S, et al. Isolation of a novel collagen-binding protein from the mushroom, *Hypsizigus marmoreus*, which inhibits the Lewis lung carcinoma cell adhesion to type IV collagen[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1995(270): 1481-1484.
- [4]FU H Y, SHIEH D E, HO C T. Antioxidant and free radical scavenging activities of edible mushrooms [J]. Journal of Food Lipids, 2002(9):35-46.
- [5]LIU F, OOI V E C, CHANG S T. Free radical scavenging activities of mushroom polysaccharide extracts [J]. Life Sciences, 1997,60(10): 763-771.
- [6]WONG J H, WANG H X, NG T B, et al. Marmorin, a new ribosome inactivating protein with antiproliferative and HIV-1 reverse transcriptase inhibitory activities from the mushroom *Hypsizigus marmoreus* [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2008,81(41): 669-674.
- [7]LAM S K, NG T B. Hypsin, a novel thermostable ribosome inactivating protein with antifungal and antiproliferative activities from fruiting bodies of the edible mushroom *Hypsizigus marmoreus* [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2001, 285(4):1071-1075.
- [8]LEE Y L, JIAN S Y, LIAN P, et al. Antioxidant properties of extracts from a white mutant of the mushroom *Hypsizigus marmoreus* [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008,21(2):116-124.
- [9]LEE YL, JIAN S Y, MAU J L. Composition and non-volatile taste components of *Hypsizigus marmoreus* [J]. Food Science and Technology, 2009, 42(2): 594-598.
- [10]黄绍重,李伟华. 食(药)用真菌多糖及其生理功能[J]. 商丘职业技术学院学报, 2007, 2(6):101-103.

理器的节点电路系统硬件资源丰富、功耗低、体积小,可移植 Linux 操作系统实现多任务并发处理,满足海底观测的功能需求,且易于岸站远程监控与维护,并便于节点系统功能升级与可扩展功能需求,代表着海底观测节点嵌入式控制系统未来发展的方向。现场试验证明,基于 ARM9 的节点电路系统功能强大,电路硬件运行稳定可靠,是海底观测网节点系统电路硬件设计的优选方案之一。

参考文献:

- [1]杨灿军,陈燕虎. 海底观测网络节点平台:中国,201010162974 [P]. 2010-09-08.
- [2]薛志刚,金波,李德骏,等. 海底观测网络的监测信息系统研究[J]. 轻工机械,2010,28(4):83-86.
- [3]周勇. 海底观测网数据库服务器的设计与实现[D]. 长沙:湖南师范大学,2010.
- [4]李扬. 基于 ARM 和嵌入式 Linux 的志愿船自动测报仪的设计与开发[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [5]董英英,王启峰. 基于 S3C2440 的 WindML 图形驱动设计[J]. 现代电子技术,2010(16):69-71.
- [6]杨凌云,樊桂花,曾峦,等. 利用 16C554 实现主从式单片机远距离通信扩展[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2002(3):30-32.

(上接第 31 页)

- [11]刘建军,金力,朱爱莲,等. 白玉菇菌丝体生长阶段培养料理化变化规律与出菇条件的研究[J]. 食用菌,2010(2):10-12.
- [12]江微,杨江华,李川. 食用菌菌种分离研究进展[J]. 农技服务,2009,26(7):161-162.
- [13]刘成荣,万飞云. 药用真菌桑黄液体深层培养条件和胞外多糖积累规律研究[J]. 江西农业学报,2007,19(12):77-79.
- [14]黄清荣,姜华,张萍,等. 真姬菇液体培养基的正交试验研究[J]. 安徽农业科学,2005,33(9):1626-1627.
- [15]王耕. 真姬菇液体培养条件的优化及多糖提取与分析[D]. 福州:福建农林大学,2009.
- [16]杨芳,王新风,翁良,等. 两种羊肚菌胞内多糖体外抗氧化性[J]. 食品科学,2010,31(23):76-78.
- [17]张俊刚,徐颖,赵清珍,等. 真姬菇子实体多糖提取条件正交试验研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(21):9125-9191.
- [18]陈大中. 加权法优化立血康软胶囊的制剂工艺[J]. 中华中医药学刊,2008,9(26):2010-2011.