

刘 敏,刘鹏冀,赵玉涛,等. 白背毛木耳液体发酵条件优化[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):149-151,175.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.041

# 白背毛木耳液体发酵条件优化

刘 敏<sup>1</sup>, 刘鹏冀<sup>2</sup>, 赵玉涛<sup>2</sup>, 卢 红<sup>2</sup>

(1. 河北大学生物技术研究中心, 河北保定 071002; 2. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

**摘要:**以白背毛木耳为试验材料,采用液体摇瓶培养法,通过单因素试验、正交试验,以菌丝体生物量为主要指标,对白背毛木耳液体发酵培养基配方及培养条件进行优化。结果表明,白背毛木耳适宜的液体培养基配方为 20.0% 马铃薯、2.0% 葡萄糖、1.5% 酵母粉、0.1%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、0.2%  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;白背毛木耳液体培养适宜的条件:培养温度为 25 ℃、摇床转速为 180 r/min、装液量为 100 mL(250 mL 三角瓶)、发酵终点为 4 d。

**关键词:**白背毛木耳;液体培养基;发酵条件;菌丝体鲜质量;优化

**中图分类号:**S646.604<sup>+</sup>.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)21-0149-03

白背毛木耳(*Auricularia polytricha*)隶属于担子菌亚门层菌纲木耳目木耳科木耳属中的毛木耳种。按照背部绒毛层颜色不同,毛木耳分为白背毛木耳和黄背毛木耳 2 个商业化栽培品种。毛木耳口感脆滑,风味独特,胶质含量丰富,素有“树上海蜃皮”之美称。毛木耳营养丰富,据分析,100 g 毛木耳干品中含有 7.0~9.1 g 粗蛋白质、0.6~1.2 g 粗脂肪、64.6~69.2 g 碳水化合物、1 230.1~1 334.7 kJ 热量、9.7~14.3 g 粗纤维、2.1~4.2 g 灰分、0.01 mg 胡萝卜素、0.09~0.36 mg 硫胺素、7.04~8.35 mg 抗坏血酸以及 1.7~4.0 mg 尼克酸<sup>[1]</sup>。另外,毛木耳还具有较高的药用价值,入药有益气强身、活血、止血、止痛之功效<sup>[2-3]</sup>。

毛木耳是一种著名的药食兼用的蕈菌,在我国栽培的历史悠久,是极具商业开发价值的木耳品种之一<sup>[4]</sup>。毛木耳是一种高温腐生型菌类,易栽培,既可鲜销又可干售,适合高温季节栽培,正好可以弥补夏季蔬菜市场上鲜品菇类供应的不足,亦可作为食用菌周年栽培生产的一个配套品种,是当前我国广泛栽培的食用菌之一。目前,毛木耳生产过程中大多使用的是固体菌种,与固体菌种相比,液体菌种具有菌龄一致、生长速度快、生产周期短、接种方便、无季节性、适宜工厂化生产等优势,因此在食用菌生产中具有广阔的应用前景<sup>[5-6]</sup>。

目前有关毛木耳液体发酵条件尚未见系统的研究,因此,本研究采用液体摇瓶培养法,以菌丝体鲜质量为指标,通过碳、氮源单因素试验并结合  $\text{L}_9(3^4)$  正交试验方法,对白背毛木耳液体发酵过程中的培养基配方及培养条件进行优化,筛选出白背毛木耳最适宜的液体培养基,旨在为白背毛木耳菌种生产、紫外诱变育种以及液体发酵活性物质提取等方面的研究提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

收稿日期:2016-09-28

基金项目:河北省科技支撑计划(编号:16237301D-2-10)。

作者简介:刘 敏(1985—),女,河北石家庄人,硕士,实验师,从事食用菌真菌研究与开发工作。E-mail:liumin870115@163.com。

1.1.1 供试菌株 白背毛木耳菌株为川耳 1 号,由河北大学食药真菌研究所保藏。

1.1.2 培养基 (1)PDA 培养基:20% 马铃薯、2% 葡萄糖、2% 琼脂,pH 值自然。(2)一级液体培养基、基础二级液体培养基:20.0% 马铃薯、2.0% 葡萄糖、1.0% 蛋白胨、0.1%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、0.1%  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 。(3)栽培培养基:84% 杂木屑、15% 麸皮、1% 生石灰。

### 1.2 试验方法

1.2.1 白背毛木耳试管母种扩繁 按常规方法制备 PDA 培养基后,121 ℃ 高压灭菌 30 min,冷却后,通过无菌操作进行接种,于 25 ℃ 恒温培养箱中进行黑暗培养,待试管中菌丝长满,备用。

1.2.2 一级液体菌种的制备方法 按常规方法制备一级液体培养基,分装于 250 mL 三角瓶中,装液量为 100 mL,121 ℃ 高压灭菌 30 min,待冷却后,取活化的菌种在无菌条件下进行接种,接种后放入恒温摇床中 25 ℃、160 r/min 恒温振荡培养 6 d,制得白背毛木耳一级液体菌种,备用。

1.2.3 碳源的选择 固定其他成分不变,分别用蔗糖、可溶性淀粉、玉米粉代替基础二级液体培养基中的葡萄糖作为培养基的碳源,浓度均为 2.0%,250 mL 三角瓶中装液量为 100 mL,121 ℃ 灭菌 30 min,接种量为 10%,放入 25 ℃、160 r/min 摇床内振荡培养 6 d,测定菌丝体鲜质量,每个处理 3 次重复。菌丝体鲜质量测定方法<sup>[7]</sup>:以 80 目铜丝网过滤称质量,鲜质量的测定可以实时检测菌种的发酵动态,是较干质量测定更为实用的快速测定方法。

1.2.4 氮源的选择 固定其他成分不变,分别用麸皮、酵母粉、硫酸铵代替基础二级液体培养基中的蛋白胨作为培养基的氮源,浓度均为 1.0%,250 mL 三角瓶中装液量为 100 mL,121 ℃ 灭菌 30 min,接种量为 10%,放入 25 ℃、160 r/min 摇床内振荡培养 6 d,测定菌丝体鲜质量,每个处理 3 次重复。

1.2.5 碳源、氮源正交试验 以葡萄糖、酵母粉、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  为试验因素,设计  $\text{L}_9(3^4)$  正交试验,试验因素水平如表 1 所示,以菌丝体鲜质量为指标,共计 9 个处理,每个处理 3 次重复。

1.2.6 温度的选择 接种菌种后,将三角瓶分别置于 19、22、25、28、31 ℃ 温度下 160 r/min 振荡培养 6 d 后,测定菌丝

表 1 正交试验因素水平

水平	因素(%)			
	A:葡萄糖	B:酵母粉	C:MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	D:KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
1	1.0	0.5	0.1	0.1
2	2.0	1.0	0.2	0.2
3	3.0	1.5	0.3	0.3

体鲜质量。

1.2.7 摇床转速的选择 接种菌种后,摇床转速分别设置为 160、170、180、190、200、210 r/min,在上述试验选出的最佳温度下振荡培养 6 d 后,测定菌丝体鲜质量。

1.2.8 装液量的选择 配制基础二级液体培养基时分别在 250 mL 三角瓶中装入 70、80、90、100、110、120 mL 的培养基,接种菌种后,在上述试验选出的最佳温度及上述试验最佳摇床转速条件下振荡培养 6 d 后,测定菌丝体鲜质量。

1.2.9 发酵终点的确定

1.2.9.1 白背毛木耳液体发酵过程中相关指标的检测 接种后,将三角瓶置于 25 ℃、160 r/min 的恒温摇床中,发酵开始后每隔 24 h 取出 3 瓶测定菌丝体的鲜质量和发酵液 pH 值,确定最佳发酵时间。

1.2.9.2 回接试管法萌发试验 根据液体发酵曲线的情况,试验中从液体发酵的第 4 天至第 7 天,每天上午 10:00 取样,取样后接种到斜面培养基上,25 ℃恒温黑暗培养,记录回接试管后菌丝的萌发时间。以菌丝体鲜质量及回接试管后菌丝萌发情况作为主要评价指标,确定白背毛木耳液体发酵终点。

1.2.10 液体菌种应用比较 分别将白背毛木耳固体菌种和液体菌种接种于栽培培养基中,25 ℃恒温培养,培养过程中观察并记录满袋时间、菌丝长势、白背毛木耳的子实体农艺性状和生物学效率等(每袋装干料 1 000 g)。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 碳源对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

碳源是食用菌培养基的主要营养成分之一,碳素是构成食用菌细胞和代谢产物中碳架来源的营养物质,也是食用菌的生命活动所需要的能源。相关研究表明,碳源主要对细胞生长和活性生物成分的合成有较大的影响<sup>[8-9]</sup>。由表 2 可知,白背毛木耳对 4 种碳源均有不同程度的利用,以菌丝体鲜质量为指标来看,其中葡萄糖的利用率最高,可溶性淀粉次之,蔗糖最差。在 4 种供试的碳源中,发酵培养基最佳碳源为葡萄糖,菌丝体鲜质量可达 25.432 7 g/100 mL,并且与其他 3 种碳源的菌丝体鲜质量差异显著( $P < 0.05$ ),其余 3 个碳源(可溶性淀粉、蔗糖和玉米粉)尽管在发酵后菌丝体鲜质量有所不同,但是经过统计学分析并无显著性差异。因此,选择葡萄糖作为白背毛木耳液体发酵的主要碳源并进行后续的碳源、氮源正交试验。

2.2 氮源对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

氮源是食用菌细胞合成蛋白质和核酸必不可少的主要原料,一般不供作能量来源,通常分为无机氮和有机氮 2 类。由表 3 可知,氮源对白背毛木耳菌丝体生物量的影响有一定的差异。在 4 种供试氮源中,麸皮和酵母粉的发酵效果较好,发

表 2 不同碳源对白背毛木耳菌丝体鲜质量的影响

碳源	菌丝体鲜质量(g/100 mL)			
	重复 1	重复 2	重复 3	平均值 ± 标准差
葡萄糖	24.628 3	24.855 1	26.814 7	25.432 7 ± 0.694 1Aa
蔗糖	22.211 9	23.413 1	22.744 4	22.789 8 ± 0.347 5Ab
可溶性淀粉	21.810 8	23.675 0	24.530 0	23.338 6 ± 0.802 8Ab
玉米粉	22.933 7	24.409 9	22.403 9	23.249 2 ± 0.600 2Ab

注:不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。表 3 同。

酵结束后菌丝体鲜质量较高,并且两者之间无显著性差异,因此麸皮和酵母粉均可以作为白背毛木耳液体发酵时的氮源来使用。由于酵母粉为氮源时培养白背毛木耳的结果略优于麸皮,此时菌丝体鲜质量最大,可以达到 31.098 6 g/100 mL,且考虑到培养基制作过程的简便易行,选择酵母粉作为白背毛木耳液体发酵的主要氮源并进行后续的碳源、氮源正交试验。

表 3 不同氮源对白背毛木耳菌丝体鲜质量的影响

氮源	菌丝体鲜质量(g/100 mL)			
	重复 1	重复 2	重复 3	平均值
蛋白胨	24.628 3	24.855 1	26.814 7	25.432 7 ± 0.694 1Bb
麸皮	30.281 3	29.253 8	31.133 6	30.222 9 ± 0.543 4Aa
酵母粉	31.266 7	31.481 9	30.547 2	31.098 6 ± 0.282 6Aa
硫酸铵	14.074 2	15.555 6	14.597 7	14.742 5 ± 0.4337Cc

2.3 正交试验分析

正交试验中共有 9 个处理,由表 4 可知,白背毛木耳液体培养中的 4 个因素对菌丝体鲜质量的影响表现为  $B > D > A > C$ ,即酵母粉  $> KH_2PO_4 > 葡萄糖 > MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 。从正交试验直观分析结果可知,各因素水平的最优理论组合为  $A_1B_3C_1D_2$ ,即 1.0% 葡萄糖、1.5% 酵母粉、0.1%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、0.2%  $KH_2PO_4$ ,此时菌丝体鲜质量最大。而试验处理最优结果却是  $A_2B_3C_1D_2$ ,即 2.0% 葡萄糖、1.5% 酵母粉、0.1%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、0.2%  $KH_2PO_4$ ,因此须要做验证试验。

表 4  $L_9(3^4)$  正交试验结果

试验号	A:葡萄糖	B:酵母粉	C:MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	D:KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	菌丝体鲜质量(g/100 mL)
1	1	1	1	1	25.903 0
2	1	2	2	2	37.504 9
3	1	3	3	3	41.955 7
4	2	1	2	3	25.898 9
5	2	2	3	1	25.941 5
6	2	3	1	2	43.631 0
7	3	1	3	2	25.805 0
8	3	2	1	3	34.655 0
9	3	3	2	1	34.344 3
$k_1$	36.877	27.162	36.466	30.166	
$k_2$	33.415	34.335	34.212	37.429	
$k_3$	33.181	41.976	32.796	35.878	
$R$	3.696	14.814	3.670	7.263	

由表 5 可知,在  $A_2B_3C_1D_2$  组合条件下白背毛木耳的菌丝体鲜质量达 43.631 0 g/100 mL,略优于  $A_1B_3C_1D_2$  组合。因此,确定白背毛木耳最佳液体培养基配方组合为  $A_2B_3C_1D_2$ ,即 2.0% 葡萄糖、1.5% 酵母粉、0.1%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、0.2%  $KH_2PO_4$ 。

2.4 培养温度对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

由图 1 可知,温度过高或过低均会影响白背毛木耳的生

表5 验证试验结果

组合	菌丝体鲜质量(g/100 mL)
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	43.631 0
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	42.812 5

长,19~25℃时,随温度不断升高菌丝体鲜质量逐渐增加,当发酵温度为25℃时,菌丝体鲜质量达到最大值,为42.579 8 g/100 mL,高于25℃时菌丝体鲜质量略有下降。因此,白背毛木耳液体发酵温度为25℃时较为适宜。

## 2.5 摇床转速对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

由图2可知,转速过高或过低均会影响白背毛木耳的生

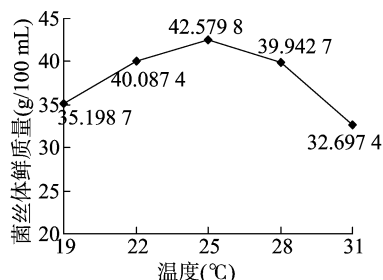


图1 温度对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

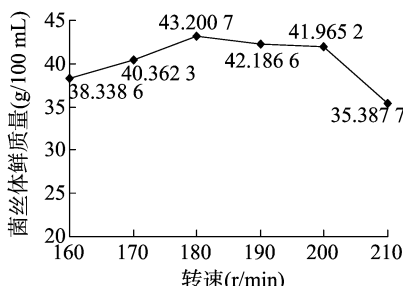


图2 转速对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

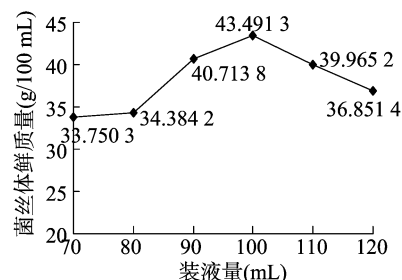


图3 装液量对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

## 2.7 发酵终点试验结果

由图4可知,白背毛木耳在整个液体发酵过程中,发酵液的pH值变化并不大,在5.4~6.7之间,总体趋势是先上升后下降,培养3 d时达到最大值,为6.7,培养4~5 d达到稳定,均为6.5,而后开始下降。生物量方面,发酵开始后的前4 d,随着发酵时间的延长,菌丝体鲜质量呈快速增长趋势,此时处于对数生长期,4 d后开始菌丝体生物量增长速度变缓,几乎趋于稳定,6 d后开始有所下降。由表6可知,菌龄为4、5 d的液体菌种在斜面培养基上的萌发时间最短。综合考虑菌丝体生物量、回接试管后菌丝萌发时间和成本因素,确定白背毛木耳液体菌种的发酵终点为4 d。

## 2.8 液体菌种的应用

由表7结果可知,白背毛木耳液体菌种接入栽培培养基,其菌丝生长速度比固体菌种快,满袋时间较短,比固体菌种满袋的时间少了9 d,可明显缩短生产周期;耳片的颜色均呈现为暗褐色,液体菌种的出耳生物学效率略高于固体菌种。不

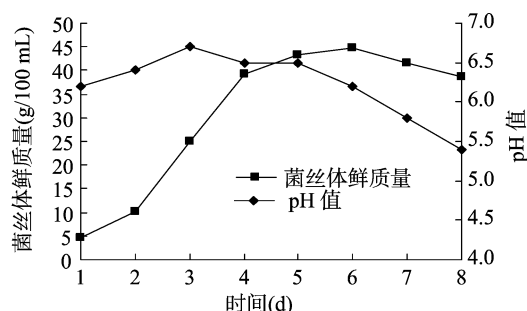


图4 白背毛木耳液体培养过程中菌丝体鲜质量及pH值的变化

表6 不同菌龄的液体菌种回接试管萌发时间

菌龄(d)	萌发时间(h)
4	12
5	12
6	17
7	23

表7 液体菌种和固体菌种的比较

菌种	满袋时间(d)	菌丝长势	耳片色泽	百片质量(g/100片)	厚度(mm)	泡发率(%)	头潮鲜耳质量(g/袋)	生物学效率(%)
液体菌种	24	+++	暗褐色	5 038.7	1.27	967.59	783.51	119.37
固体菌种	33	+++	暗褐色	4 876.2	1.09	943.08	736.22	110.58

注:“+++”表示菌丝生长浓密;百片质量:以100片鲜木耳子实体的质量来衡量耳片大小;耳片厚度:将10片鲜耳片重叠起来,以游标卡尺测出厚度除以10即得单片耳片的厚度;泡发率:指干木耳浸泡吸水并滤去余水后的湿木耳与原干木耳的质量百分比。

同菌种应用于栽培后的子实体情况如图5所示。另外,在试验过程中发现采用液体菌种污染率较低,主要是因为液体菌种接种后的萌发点较多,菌丝生长速度快于固体菌种,因此,白背毛木耳的液体菌种可用于生产实践。

## 3 结论

通过碳源、氮源的单因素试验和正交试验,最终确定了白

长,随着转速的不断增加,培养基中溶氧量逐渐增大,当摇床转速为180 r/min时,菌丝体鲜质量达到最大值,为43.200 7 g/100 mL。因此,白背毛木耳液体发酵的摇床转速以180 r/min较为适宜。

## 2.6 装液量对白背毛木耳液体菌丝体培养的影响

液体发酵过程中,装液量也可以直接影响培养基中的溶氧情况。由图3可知,当250 mL的三角瓶中装液量为100 mL时,培养结束后菌丝体鲜质量达到最大值,为43.491 3 g/100 mL。因此,在进行白背毛木耳液体发酵时,装液量以100 mL(250 mL三角瓶)较为适宜。

背毛木耳适宜的液体培养基配方为20.0%马铃薯、2.0%葡萄糖、1.5%酵母粉、0.1% MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、0.2% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>。本试验还从起始培养温度、摇床转速以及装液量3个方面对白背毛木耳的液体培养条件进行了单因素试验,结果表明,白背毛木耳液体培养适宜的条件:培养温度为25℃、摇床转速为180 r/min、装液量为100 mL(250 mL三角瓶)、发酵终点为

(下转第175页)

表 5 猪舍排水口废水中氨、磷、COD 和粪大肠菌群数

猪舍类型	氨含量 (mg/mL)	磷含量 (mg/mL)	COD (mg/mL)	粪大肠菌群数 ( $\times 10^6$ 个/100 mL)
水泥地面	0.11 $\pm$ 0.01a	0.12 $\pm$ 0.03a	10.80 $\pm$ 1.48a	5.9 $\pm$ 0.17a
发酵床	0.05 $\pm$ 0.01b	0.08 $\pm$ 0.01b	7.90 $\pm$ 0.08b	1.1 $\pm$ 0.10b

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

水中含有大量猪粪尿以及部分饲料残余,其主要污染物是 COD、氨、磷等,属于高浓度有机污水,并且含有较多的粪大肠菌群和蛔虫卵。本试验中,发酵床猪舍排出的废水中磷含量、氨和粪大肠菌群数均显著低于水泥猪舍组。因此,发酵床养殖模式可以减少对环境的污染,是一种环保的养殖模式。

#### 参考文献:

- [1] 仇焕广,井月,廖绍攀,等. 我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J]. 中国环境科学,2013,33(12):2268-2273.
- [2] 王香祖,席继锋,韩学平. 发酵床养猪技术应用进展[J]. 上海畜牧兽医通讯,2013(4):16-17.
- [3] 沙宗权. 微生物发酵床养猪技术的应用[J]. 现代农业科技,2013(10):261-262.
- [4] Philippe F X, Canart B, Laitat M, et al. Effects of available surface on gaseous emissions from group-housed gestating sows kept on deep litter[J]. Animal,2010,4(10):1716-1724.
- [5] Karlen G M, Hemsworth P H, Gonyou H W, et al. The welfare of gestating sows in conventional stalls and large groups on deep litter[J]. Applied Animal Behaviour Science,2007,105:87-101.
- [6] 秦枫,潘孝青,李晟,等. 发酵床养殖对猪组织器官和血液免疫指标的影响[J]. 畜牧与兽医,2013,45(10):72-73.
- [7] Morrison R S, Johnston L J, Hilbrands A M. The behaviour, welfare, growth performance and meat quality of pigshoused in a deep-litter, large group housing system compared to a conventional confinement system[J]. Applied Animal Behaviour Science,2007,103(1/2):12-24.
- [8] Morrison R S, Hemsworth P H, Cronin G M, et al. The effect of restricting pen space and feeder availability on the behaviour and growth performance of entire male growing pigs in a deep-litter, large group housing system[J]. Applied Animal Behaviour Science,2003,83(3):163-176.
- [9] 张爽,纪术远,周海柱,等. 冬季发酵床养猪舍内环境状况评价[J]. 中国农学通报,2013,29(11):11-15.
- [10] 王震,许丽娟,贺月林,等. 培养条件对干酪乳杆菌生长及降氨能力的影响[J]. 贵州农业科学,2013,41(7):135-137.
- [11] 孟现成. 微生物发酵床饲养模式对猪生产性能、猪舍环境、抗病力及猪肉品质的影响[J]. 养殖技术顾问,2014(9):7-8.
- [12] Philippe F X, Laitat M, Canart B, et al. Comparison of ammonia and greenhouse gas emission during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter[J]. Livestock Science,2007,30(5):567-571.
- [13] 郭彤,郭秀山,马建民,等. 发酵床饲养模式对断奶仔猪生长性能、腹泻、肠道菌群及畜舍环境的影响[J]. 中国畜牧杂志,2012,48(20):56-60.
- [14] 张庆宁,胡明,朱荣生,等. 生态养猪模式中发酵床优势细菌的微生物学性质及其应用研究[J]. 山东农业科学,2009(4):99-105.
- [15] 冯幼,张祥斌,陈学灵,等. 夏季发酵床饲养模式对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及猪舍环境的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(22):4706-4713.
- [16] 林莉莉,姜雪,冯聪,等. 发酵床养猪猪舍环境与猪体表微生物分布状况的研究[J]. 安徽农业科学,2010,34(8):19530-19531.

(上接第 151 页)



图5 出耳情况

4 d. 白背毛木耳液体菌种的发酵速度明显快于固体菌种,满袋时间较短,从而降低了生产成本,生物学效率也略优于固体菌种,且操作简便,具有一定的现实应用优势,可用于生产实践。

#### 参考文献:

- [1] 张丹,郑有良. 毛木耳(*Auricularia polytricha*)的研究进展[J]. 西南农业学报,2004,17(5):668-673.
- [2] 常明昌. 食用菌栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:220-221.
- [3] 清源. 毛木耳的价值及开发利用现状[J]. 西昌学院学报(自然科学版),2012,26(1):29-31.
- [4] 黄卓忠,陈丽新,韦仕岩,等. 葡萄枝屑栽培毛木耳配方筛选试验[J]. 南方农业学报,2011,42(8):961-963.
- [5] 徐思炜,张君胜,周雯. 香菇液体菌种培养条件优化[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):290-292.
- [6] 刘敏,白志芳,李媛,等. 金福菇液体培养条件的优化[J]. 河北大学学报(自然科学版),2014,34(4):410-413,420.
- [7] 王谦,闫蕾蕾,王永利,等. 金顶侧耳的深层液体培养及相关检测[J]. 菌物系统,2002,21(1):102-106.
- [8] Zhong J J, Zhu Q X. Effect of initial phosphate concentration on cell growth and ginsenoside saponin production by suspended cultures of *Panax notoginseng* [J]. Applied Biochemistry & Biotechnology, 1995,55(3):241-247.
- [9] Hwang H J, Kim S W, Xu C P, et al. Production and molecular characteristics of four groups of exopolysaccharides from submerged culture of *Phellinus gilvus* [J]. Journal of Applied Microbiology, 2003,94(4):708-719.