

# 木质纤维素类生物质生物预处理菌种筛选\*

徐春燕,杨雪薇,马富英,余洪波,张晓昱

(华中科技大学 生命科学与技术学院,湖北 武汉,430074)

**摘 要** 以生物质的转化率(TR)、糖化率(SR)为评价标准,在竹粉、稻草和玉米秸秆3种生物质上筛选了33株采自神农架自然保护区的白腐菌菌株,发现针对不同生物质,适用于生物预处理的菌株不同:竹粉基质为杂色云芝,稻草基质为侧耳属菌株,玉米秸秆基质为乳白耙菌。所筛出白腐菌预处理时间显著缩短,以相应菌株处理竹粉、稻草和玉米秸秆15d,其生物质TR分别提高25.8%、47.0%和136.3%,SR依次达到14.1%、39.4%和37.5%。3种生物质中木质素含量与其糖化率关系密切。

**关键词** 生物预处理,白腐菌,竹,稻草,玉米秸秆

预处理技术是影响生物质酶解效率和控制纤维质乙醇成本的关键环节,受到国内外学者关注,为生物质乙醇研究热点之一<sup>[1,2]</sup>。预处理技术分为化学法、物理法、物理化学法和生物法等<sup>[1,2]</sup>,其中生物预处理被认为比较有发展前景<sup>[1~3]</sup>。生物预处理所采用的菌种主要有白腐菌、褐腐菌和软腐菌<sup>[1~3]</sup>,白腐菌因其降解木质素能力强而受到研究者的重视。

现有有关预处理的研究报道中采用白腐菌种类较少,对于菌株筛选未展开系统研究。已有研究表明,并非所有白腐菌都能够有效改性生物质提高糖化率。Taniguchi等人<sup>[4]</sup>在稻草基质上筛选了4株白腐菌,发现糙皮侧耳通过选择性降解稻草中木质素,增加了稻草对纤维素酶的可及性,使糖化率提高到33.0%,提高效果显著;Lee等人<sup>[5]</sup>在软木上对比了3株白腐菌的预处理效果,发现*S. hirsutum*的处理效果最好,能够选择性降解软木中木质素,使糖产量提高21.0%。针对不同生物质,适合用于生物预处理的白腐菌可能来源于不同种属。为寻找合适的生物预处理菌种,笔者在竹粉、稻草和玉米秸秆3种生物质上系统地进行了菌种筛选工作。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 生物质

玉米秸秆和稻草分别来自湖北恩施和红安,收割于2006年10月和5月。竹粉来自湖北咸宁,采集于

2006年4月。3种生物质采集后晒干粉碎,过20目和40目筛网,收集20~40目样品用于后续研究。

#### 1.1.2 担子菌菌株

菌株采集于湖北省神农架自然保护区,均为华中科技大学生命科学与技术学院分子生物物理教育部重点实验室分离和鉴定,共33株,相应编号与种属见表1,其中6号杂色云芝和22号乳白耙菌为分子生物学鉴定;28~33号菌株未鉴定,种属未知;其它菌株为子实体鉴定。

#### 1.1.3 纤维素酶

纤维素酶由河南天冠集团有限公司提供,具纤维素酶和半纤维素酶活性,FPU酶96.9 IU/g,EG酶1367.7 IU/g,CBH酶20.7 IU/g, $\beta$ -葡萄糖苷酶77.0 IU/g,木聚糖酶5840.7 IU/g,果胶酶421.7 IU/g,甘露聚糖酶804.2 IU/g。

#### 1.1.4 培养基

(1)活化培养基:PDA(potato dextrose agar)培养基。

(2)筛选培养基:竹粉培养基按照竹粉:自来水(g:mL)=1:1.25配制,稻草(玉米秸秆)培养基按照稻草粉(玉米秸秆粉):自来水(g:mL)=1:2.5配制。各培养基于121℃蒸汽灭菌30 min。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 生物预处理

从斜面上挑取1块菌丝体到PDA平板上活化菌株,活化后打孔接种菌株到秸秆平板上28℃静置培养。接种体为圆形,直径0.5 cm,秸秆平板培养基厚度为0.5~0.6 cm。培养期间,每天测量菌苔直径,计算菌丝生长速度(cm/d)。15 d后将各样品于105℃烘至恒重,称重、粉碎。以培养前后绝干质量差

第一作者:博士研究生(张晓昱为通讯作者)。

\* 国家“973”项目(2007CB210200),“863”项目(2007AA021301)

收稿日期:2008-10-10,改回日期:2008-11-15

计算失重率。每个样品做 3 个平行,采用统计学方法 计算其均值与方差。

表 1 三十三菌株的种属

编号	种属	编号	种属	编号	种属
1	<i>Pleurotus ostreatus</i>	12	<i>Trametes</i> sp.	23	<i>Lepista nuda</i>
2	<i>Pleurotus</i> sp.	13	<i>Hericium erinaceum</i>	24	<i>Flammulina velutipes</i>
3	<i>Pleurotus</i> sp.	14	<i>Hericium erinaceum</i>	25	<i>Collybia</i> sp.
4	<i>Pleurotus</i> sp.	15	<i>Hericium erinaceum</i>	26	<i>Grifola frondosa</i>
5	<i>Pleurotus</i> sp.	16	<i>Polyporus mongolicus</i>	27	<i>Antrodia zonata</i>
6	<i>Coriolus versicolor</i>	17	<i>Polyporus mongolicus</i>	28	U9252
7	<i>Trametes versicolor</i>	18	<i>Polyporus mongolicus</i>	29	U9257
8	<i>Trametes versicolor</i>	19	<i>Fomes fomentarius</i>	30	U9259
9	<i>Trametes ochracea</i>	20	<i>Phellinus vaninii</i>	31	U9262
10	<i>Trametes ochracea</i>	21	<i>Ganoderma lucidum</i>	32	U9281
11	<i>Trametes</i> sp.	22	<i>Irpex lacteus</i>	33	U9292

1.2.2 酶解糖化

取 0.160 g 预处理前后的生物质粉末,按每克生物质 20 FPU 加入纤维素酶酶液,于 48℃ 酶解 48 h,转速 200 r/min。酶解后用 DNS 法测定滤液中还原糖含量。以酶解转化出的还原糖质量占酶解前生物质质量百分比表示各样品转化率(transformation rate,TR),公式为:

TR/% = (酶解转化的还原糖质量 / 酶解前称取的生物质质量) × 100

糖化率(saccharification rate,SR)为各菌株处理后生物质糖化的还原糖量占菌株处理前生物质中能源底物的比例,能源底物指能被转化为单糖的综纤维素(纤维素和半纤维素)。SR 考虑了预处理造成的质量损失,公式为:

SR/% = (处理后酶解转化的还原糖质量 / 处理前生物质中综纤维素质量) × 100

1.2.3 木质纤维素测定

纤维素和半纤维素含量参考 Goering 和 Van Soest 的方法<sup>[6]</sup>,纤维素为 72% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消化的部分,半纤维素为中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量之差;酸不溶木质素(AIL)和酸溶木质素(ASL)含量采用美国可再生能源实验室方法<sup>[7]</sup>,木质素含量为 AIL 与 ASL 之和。

2 结果与分析

2.1 生物质主要组分含量

竹粉、稻草和玉米秸秆为木质纤维素类生物质,主要成分为纤维素、半纤维素和木质素<sup>[8]</sup>。3 种生物质主要组分含量规律相同,即纤维素>半纤维素>AIL>ASL;稻草 AIL 最低,为 11.3%;竹粉 AIL 最高,达到 23.9%;玉米秸秆纤维素最高,达 36.7%;稻

草与玉米秸秆中 ASL 含量相当,高于竹粉;玉米秸秆与竹粉中半纤维素含量相当(图 1)。纤维素与半纤维素同属多糖类物质,纤维素是由 D-葡萄糖基构成的直连高分子化合物,为植物细胞壁中骨架物质<sup>[8]</sup>;半纤维素是由 2 种或 2 种以上糖基构成或键连接的杂聚糖,糖基分布因植物种类差别显著,主要有木糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖等,在细胞壁中为粘结物质<sup>[8,9]</sup>;木质素是由苯丙烷单元以非线性随机方式连接成的一类复杂芳香聚合物,为细胞壁中结壳物质<sup>[8]</sup>。纤维素和半纤维素合称综纤维素,能被水解为单糖,是乙醇发酵的能源底物,其在 3 种生物质中的含量为竹粉 61.2%、稻草 53.3%、玉米秸秆 63.4%。

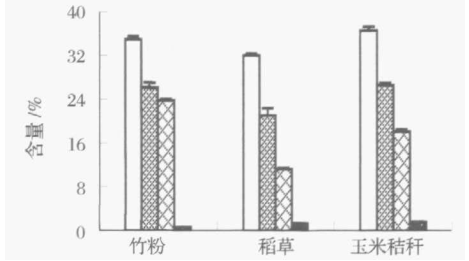


图 1 三种生物质中木质纤维素含量

2.2 竹基质上的生长速度、失重及 TR

竹基质上,23、24、29 和 30 号 4 株菌生长速度较快,在 1.0 cm/d 以上;13、14、17~20、26、28 和 32 号等菌株生长较慢,培养 15 d 菌苔才铺满或未铺满平板,生长慢导致质量损失较少,不足 4%(表 2)。菌株生长状况直接影响其处理效果,某些菌株生长缓慢可能是培养基中成分不适合菌株萌发与生长,例如,26 号食用菌灰树花(又名贝叶多孔菌)属木质腐生菌,其栽培时一般需添加麸皮、玉米粉等营养物质<sup>[10]</sup>;它

在竹粉上生长很缓慢可能是因为竹粉中可溶性碳源含量较低。

表 2 竹基质上的生长速度、失重及 TR

菌株 编号	生长速度/ $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$		失重率/%		TR/%	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差
1	0.65	0.07	6.5	0.4	6.9	0.8
2	0.61	0.03	1.9	0.1	6.8	0.1
3	0.60	0.04	5.5	0.0	6.8	0.5
4	0.53	0.07	4.3	0.1	7.4	0.6
5	0.69	0.04	6.4	0.0	7.3	0.3
6	0.89	0.00	12.3	0.1	9.8	0.8
7	0.80	0.00	10.4	0.0	7.7	1.1
8	0.61	0.01	7.5	0.1	6.1	0.4
9	0.90	0.04	10.4	0.1	6.5	0.1
10	0.96	0.03	8.4	0.1	8.0	0.7
11	0.51	0.01	4.6	0.3	6.5	0.1
12	0.93	0.01	11.3	0.0	8.0	0.9
13	0.46	0.05	1.4	0.1	6.2	0.3
14	0.49	0.02	1.9	0.0	6.0	0.3
15	0.66	0.02	5.0	0.0	3.8	0.1
16	0.66	0.05	8.6	0.2	6.1	0.2
17	0.36	0.01	1.0	0.0	8.0	0.2
18	0.40	0.02	2.9	0.0	6.7	0.3
19	0.40	0.03	4.1	0.0	5.9	0.5
20	0.35	0.02	0.6	0.0	8.6	0.9
21	0.68	0.01	7.6	0.0	6.1	0.3
22	0.96	0.12	6.4	0.0	6.4	0.3
23	1.19	0.04	7.4	0.1	7.1	0.4
24	1.26	0.04	4.7	0.0	4.7	0.4
25	0.76	0.02	8.9	0.0	7.7	0.1
26	0.31	0.04	1.5	0.0	6.8	1.0
27	0.75	0.02	9.6	0.2	5.7	0.2
28	0.44	0.00	3.9	0.0	5.6	0.4
29	1.29	0.01	6.6	0.0	2.5	0.1
30	1.19	0.10	9.9	0.1	8.1	0.5
31	0.69	0.04	8.6	0.1	4.3	0.0
32	0.24	0.00	1.8	0.0	6.7	0.2
33	0.81	0.02	9.5	0.1	6.0	0.1
竹粉原料	—	—	—	—	7.8	0.2

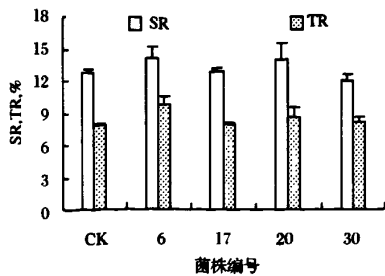


图 2 四菌株处理后竹粉 TR 与 SR

各菌株对竹粉改性程度不佳,仅 4 菌株处理后能改性竹粉,提高 TR(图 2)。这 4 株菌株处理后 TR 虽有提高,但考虑质量损失后,只有 6 号与 20 号 SR

显著高于原料。20 号改性竹粉程度弱且生长缓慢,若用于后续研究则需进一步研究其培养基;6 号使竹粉改性程度及糖化达到最好,TR 和 SR 分别提高 25.8% 和 10.5%。竹粉 SR 较低,最高仅为 14.1%,仍需深入探索提高竹粉 SR 的策略。

2.3 稻草基质上的生长、失重及 TR

表 3 稻草基质上的生长速度、失重及 TR

菌株 编号	生长速度/ $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$		失重率/%		TR/%	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差
1	0.82	0.03	7.9	0.1	21.9	0.5
2	0.70	0.05	7.5	0.0	16.1	0.0
3	0.75	0.00	7.6	0.0	18.6	1.4
4	0.71	0.03	7.9	0.1	22.8	1.9
5	0.78	0.05	6.8	0.1	17.8	0.8
6	0.80	0.00	12.0	0.0	9.8	0.2
7	0.67	0.06	10.0	0.1	12.6	1.9
8	0.34	0.03	1.5	0.0	15.9	0.5
9	0.59	0.07	8.5	0.0	7.5	1.4
10	0.77	0.04	10.4	0.3	17.6	0.1
11	0.65	0.08	8.5	0.2	10.3	0.5
12	0.62	0.04	9.9	0.2	17.5	0.7
13	0.37	0.03	0.1	0.0	15.4	0.4
14	0.43	0.04	0.5	0.0	14.4	0.8
15	0.54	0.01	3.3	0.0	13.3	0.2
16	0.45	0.04	5.5	0.1	12.2	0.1
17	0.25	0.01	1.3	0.0	17.0	0.4
18	0.36	0.01	1.2	0.0	17.2	0.3
19	0.21	0.01	2.2	0.0	14.6	0.2
20	0.37	0.01	5.4	0.1	20.9	0.9
21	0.60	0.00	6.9	0.0	12.4	0.7
22	0.98	0.03	9.6	0.1	20.0	0.3
23	1.14	0.01	8.0	0.0	17.5	0.8
24	0.98	0.03	6.6	0.0	7.7	1.0
25	0.77	0.02	10.3	0.1	16.9	0.7
26	0.23	0.01	1.1	0.0	15.2	0.5
27	0.80	0.05	12.7	0.1	12.1	1.0
28	0.40	0.02	4.4	0.0	15.5	0.5
29	1.43	0.29	10.2	0.1	8.8	0.9
30	1.17	0.10	12.8	0.3	21.3	0.6
31	0.71	0.04	12.9	0.1	8.8	0.1
32	0.14	0.01	0.9	0.0	17.1	0.3
33	0.73	0.01	9.8	0.1	13.7	1.2
稻草原料	—	—	—	—	15.5	0.6

稻草培养基上,19、23 和 30 号菌株生长最快;约 1/4 菌株生长缓慢,培养 15 d 菌苔仍未铺满平板;其余菌株生长速度相当(表 3)。使稻草 TR 提高的占菌株总数 50%,其中 12 株 TR 提高量超过 10%(图 3)。1~5 号均为侧耳属白腐菌,其中 4 株均可显著提高 TR,说明侧耳属白腐菌比较适合处理稻草基质提高其糖化能力,因此针对稻草可着重从侧耳属菌株筛选。

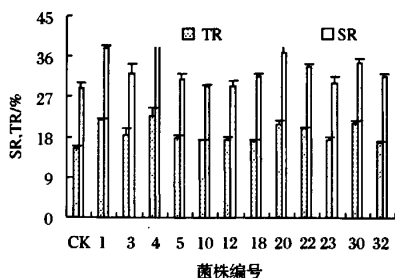


图3 十二菌株处理前后稻草 TR 与 SR

1 号和 4 号菌 SR 提高最多,从 29.1% 分别提高到 37.8% 和 39.4%, 分别提高 30.1% 和 35.4% (图 3)。Taniguchi 等<sup>[4]</sup> 采用 *Phanerochaete chrysosporium*、*Trametes versicolor*、*Ceriporiopsis subvermisporea* 和 *Pleurotus ostreatus* 等 4 株白腐菌处理稻草, *Pleurotus ostreatus* 因选择性去除稻草中的木质素从而显著提高 SR, 处理稻草 60 dSR 达 33%。对比发现,1 号和 4 号处理后 SR 显著高于 Taniguchi 等报道的结果,且处理时间大大缩短。这说明,对于预处理菌株的全面筛选与评价能够找到显著提高 SR 的菌株,亦可发现处理时间短的优势菌株。对某生物物质来说,提高其 SR 的菌株与菌株种属紧密相关,即使同一属内,不同种之间也可能存在较大差别。例如,2 号和 4 号均为侧耳属白腐菌,它们处理后稻草 SR 分别为 28.0% 和 39.4%,二者不但差异显著,而且 2 号菌株处理 15 d 后使稻草 SR 降低。

#### 2.4 玉米秸秆基质上的生长、失重及 TR

表 4 菌株在玉米秸秆基质上的生长速度、失重及 TR

菌株 编号	生长速度/ $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$		失重率/%		TR/%	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差
1	0.93	0.06	10.1	0.0	22.9	0.8
2	0.84	0.06	10.9	0.1	18.2	1.0
3	0.89	0.04	11.6	0.1	21.1	0.7
4	0.87	0.04	10.5	0.2	21.5	0.7
5	0.89	0.00	9.1	0.0	15.7	0.3
6	0.89	0.00	16.5	0.3	12.3	0.4
7	0.78	0.03	16.3	0.2	16.0	0.5
8	0.28	0.03	4.2	0.1	13.1	0.3
9	0.89	0.02	14.3	0.3	8.8	1.1
10	0.86	0.00	15.8	0.3	17.3	0.3
11	0.88	0.02	11.6	0.0	5.3	0.3
12	0.78	0.04	12.5	0.6	10.4	0.3
13	0.47	0.04	3.2	0.0	10.8	0.9
14	0.47	0.01	4.2	0.1	9.4	0.5
15	0.52	0.01	4.6	0.0	12.9	0.4
16	0.66	0.02	12.1	0.0	7.6	0.8
17	0.37	0.02	5.0	0.1	13.8	1.6
18	0.39	0.01	2.0	0.0	15.3	1.1
19	0.21	0.01	2.7	0.0	13.0	0.2

续表 4

菌株 编号	生长速度/ $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$		失重率/%		TR/%	
	均值	方差	均值	方差	均值	方差
20	0.44	0.01	3.6	0.2	16.3	0.2
21	0.71	0.02	10.2	0.0	9.2	0.5
22	1.14	0.05	15.2	0.3	28.1	0.7
23	1.15	0.03	12.3	0.1	19.8	0.6
24	1.31	0.02	8.1	0.0	6.6	0.4
25	0.74	0.01	14.7	0.1	16.5	1.3
26	0.16	0.04	1.3	0.0	15.2	0.0
27	0.85	0.01	21.2	0.5	13.7	0.2
28	0.43	0.02	5.1	0.0	13.0	0.7
29	1.27	0.06	12.4	0.0	6.8	0.1
30	1.29	0.07	9.6	1.1	23.0	0.6
31	0.75	0.16	11.2	0.6	10.4	1.1
32	0.17	0.01	2.0	0.0	13.6	1.2
33	0.84	0.03	13.8	0.1	15.1	0.9
玉米秸 秆原料	—	—	—	—	11.9	0.6

在玉米秸秆上,仅 8、17~19 和 32 号生长速度较慢,其它菌株生长良好,其中 24、29 与 30 号菌株生长最快,约 6 d 即可铺满平板(表 4)。超过半数的菌株使玉米秸秆失重率在 10% 以上。另一方面,能使玉米秸秆 TR 提高的菌株约占总菌数的 70%;有 12 株菌对玉米秸秆 TR 的提高量大于 30%,其中 22 号菌株乳白耙菌效果最显著,使玉米秸秆 TR 提高 136.3%。

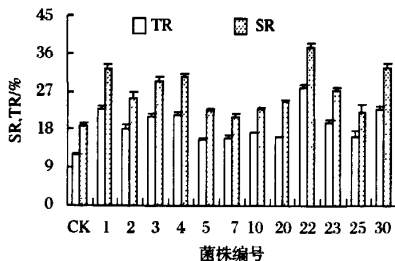


图 4 十二菌株处理前后玉米秸秆 TR 与 SR

22 号处理玉米秸秆后 TR 和 SR 提高最多,分别从 11.9% 和 18.7% 提高到 28.1% 和 37.5%。其次,30 号和 1 号菌株处理后 SR 也较高,分别达 32.7% 和 32.4%,比原料提高 74.7% 和 73.0%。因此,22 号菌株乳白耙菌是试验菌株中最适用于处理玉米秸秆提高其 SR 的 1 株白腐菌;侧耳属白腐菌易于栽培,因此 1 号糙皮侧耳开放预处理玉米秸秆值得深入研究;30 号不但处理效果好且生长快,亦是 1 株有潜力的白腐菌。

#### 2.5 木质素与 SR 的关系

对比3种原料SR与木质素含量发现:SR稻草最高,竹粉最低;木质素竹粉最高,稻草最低(图5)。推测木质素含量越低越有利于酶解时能源底物释放。木质素在木质纤维素网络结构中不但由于空间位阻作用阻碍纤维素酶和半纤维素酶对能源底物的靠近,而且对纤维素酶形成非有效吸附导致纤维素酶失活<sup>[11]</sup>。白腐菌对生物质中木质素的降解可能在生物预处理中起了关键作用,适合3种生物质预处理的菌株分别归属于不同种属,推测白腐菌在不同生物质上具有不同的降解特性,针对相应生物质的菌种筛选至关重要。

木质素                      SR

图5 三种生物质的木质素与SR

### 3 结论

在竹粉、稻草和玉米秸秆3种生物质上分别筛选到适用于相应生物质预处理的白腐菌菌株:竹粉为6号菌株杂色云芝,稻草为4号侧耳属菌株,玉米秸秆为22号菌株乳白耙菌。这几株白腐菌能显著提高相应生物质的TR和SR,处理15d后,6号使竹粉TR和SR提高25.8%和10.5%;4号使稻草TR和SR提高47.0%和35.4%;22号使玉米秸秆TR和SR

提高136.3%和100.4%,且生物预处理时间显著缩短。不同类型生物质中木质素含量与生物质糖化率关系密切。

### 参考文献

- 1 Sun Y, Cheng JY. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review [J]. *Bioresour Technol*, 2002, 83(1): 1~11
- 2 Galbe M, Zacchi G. Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production [J]. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2007, 108: 41~65
- 3 Lee JW, Kin HY, Koo BW, et al. Enzymatic saccharification of biologically pretreated *Pinus densiflora* using enzymes from brown rot fungi [J]. *J Biosci Bioeng*, 2008, 106(2): 162~167
- 4 Taniguchi M, Suzuki H, Watanabe D, et al. Evaluation of pretreatment with for enzymatic hydrolysis of rice straw [J]. *J Biosci Bioeng*, 2005, 100(6): 637~643
- 5 Lee J W, Gwak K S, Park J Y, et al. Biological pretreatment of softwood *Pinus densiflora* by three white rot fungi [J]. *J Microbiol*, 2007, 45(6): 485~491
- 6 Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis. USDA-ARS agriculture handbook [M]. Washington, D. C.: Government Printing Office, 1971
- 7 Biomass Analysis Technology Team Laboratory Analytical Procedure (Version 2006): Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass
- 8 王晓娟,王斌,冯浩,等. 木质纤维素类生物质制备生物乙醇研究进展[J]. *石油与天然气化工*, 2007, 36(6): 452~461
- 9 Saha B C. Hemicellulose bioconversion [J]. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 2003, 30(5): 279~291
- 10 钱友安,曾宪森,徐雪玲. 灰树花栽培的五个技术关键[J]. *食用菌*, 2003, 25(3): 36
- 11 Berlin A, Balakshin M, Gilkes N, et al. Inhibition of cellulase, xylanase and  $\beta$ -glucosidase activities by softwood lignin preparations [J]. *J Biotechnol*, 2006, 125(2): 198~209

## Screening of White Rot Fungi for Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass

Xu Chunyan, Yang Xuwei, Ma Fuying, Yu Hongbo, Zhang Xiaoyu

(College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**ABSTRACT** 33 strains of white rot fungi, isolated from Shennongjia Nature Reserve of Hubei Province, were evaluated to screen the strain suitable for biological pretreatment of bamboo, rice straw and corn stover. Transformation rate (TR) and saccharification rate (SR) of biomass were used as the standard of strain screening. The result indicated that different white rot fungus should be used to treat different biomass, *Coriolus versicolor* for bamboo, *Pleurotus* sp. for rice straw and *Irpex lacteus* for corn stover. Furthermore, the time of biological pretreatment in this work was significantly shortened. The transformation rates of bamboo, rice straw and corn stover were respectively enhanced by 25.8%, 47.0%, 136.3% and the corresponding saccharification rates reached 14.1%, 39.4%, 37.5%, after pretreatment with strains for 15 days. Comparing the lignocellulosic biomass of bamboo, rice straw and corn stover, it was found that the saccharification rate was negatively correlative with lignin content.

**Key words** biological pretreatment, white rot fungi, bamboo, rice straw, corn stover