

汽爆棉秆的微生物降解及发酵工艺优化

张 琴^{1,2}, 李艳宾^{1,2*}, 蒲云峰¹, 刘占文¹

(1. 塔里木大学生命科学学院, 阿拉尔市 843300;

2. 新疆塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室, 阿拉尔市 843300)

摘 要: 为了解汽爆棉秆的微生物降解情况, 研究了棉秆的微生物降解周期和发酵工艺参数。首先通过酶活曲线的构建确定了汽爆棉秆的微生物降解周期, 再在单因素试验的基础上通过正交试验优化了发酵工艺参数。结果表明, 汽爆棉秆的微生物降解启动较快, 发酵第 4 天, CMC 酶活和 FPA 酶活均达到最高值, 因此将降解周期控制在 4 d 左右。氮源种类、发酵温度、发酵起始 pH 值和接种量对 CMC 酶活和糖化率的影响均达到极显著水平; 氮源种类对 FPA 酶活和纤维素降解率的影响极显著, 发酵起始 pH 值对纤维素降解率的影响显著, 其余因素的影响不显著。综合各因素对微生物产酶、汽爆棉秆糖化和纤维素降解的影响, 得出最优的工艺条件为: 氮源为麸皮汁, 发酵温度 30℃, 起始 pH 值 6.5, 接种量 1.0%。该研究结果为棉秆的进一步开发利用提供了技术参考。

关键词: 棉花, 茎秆, 发酵, 微生物降解, 工艺, 优化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.047

中图分类号: Q939.97

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0248-06

张 琴, 李艳宾, 蒲云峰, 等. 汽爆棉秆的微生物降解及发酵工艺优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 248—253.

Zhang Qin, Li Yanbin, Pu Yunfeng, et al. Microbial degradation of steam exploded cotton stalks and optimization of fermentation technics[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 248—253. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

新疆是中国最大的产棉基地, 棉花产量占全国总产量的 1/3, 年产棉秆约 600~750 万 t^[1], 目前该区棉秆基本处于直接还田的状态, 利用率和生物转化率较低^[1-2]。棉秆是纤维素含量高的生物质资源^[1,3-4], 近年来随着纤维素类物质发酵生产燃料乙醇的研究备受重视^[5-7], 棉秆的能源特性也日益凸显, 在棉秆生产乙醇方面, 研究尚少, 还没有形成完整的乙醇生产技术路线和工艺, 但已有人对棉秆的预处理、糖化及乙醇的生产等方面进行了一定研究。Jian 等研究了白腐菌预处理对棉秆纤维素酶解和生产乙醇的影响, 结果显示, 经白腐菌预处理, 棉秆中木质素含量显著降低, 但通过纤维素酶进行后续降解仍存在纤维素转化率低、乙醇产量不高的问题^[8]。可见棉秆的预处理和糖化是决定乙醇产量高低的关键, Haykir 通过碱预处理、漆酶和纤维素酶的复合处理, 使棉秆溶出的葡萄糖产量达到 5.45%^[4]。邓辉等通过优化棉秆糖化碱预处理条件, 使棉秆水解率达到 20.05%^[9]。张琴等、李艳宾等利用微生物降解经稀酸常温处理的棉秆, 实现棉秆糖化率最高达 30%左右^[10-11], 但仍存在微生物发酵周期长(6~9 d), 糖化率还不够高的问题。已有研究表明,

经蒸汽爆破处理的玉米秸秆、麦草等酶水解效果较好, 还原糖得率较高^[12-15], 而关于汽爆棉秆的水解和糖化方面的研究尚未见报道。本研究将以经蒸汽爆破处理的棉秆为原料, 开展微生物的降解研究, 首先通过酶活曲线的构建确定汽爆棉秆的微生物降解周期, 再通过单因素试验和正交试验探讨氮源种类、发酵温度、发酵起始 pH 值和接种量对微生物发酵汽爆棉秆过程中酶活、糖化率和纤维素降解率的影响, 实现发酵工艺的优化, 为棉秆的高效糖化奠定技术基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 汽爆棉秆

棉秆采自新疆阿拉尔棉田, 风干、粉碎, 过 20 目筛, 送河南省鹤壁市汽爆工程中心进行蒸汽爆破(汽爆条件 2.0 MPa, 4 min), 汽爆棉秆经水洗、烘干后用于微生物降解研究。经检测, 汽爆棉秆中纤维素含量可达约 57.35%。

1.1.2 培养基

种子培养基: PDA 培养基。

发酵基础培养基: KH_2PO_4 2.0 g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.4 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.3 g, CaCl_2 0.3 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5 mg, MnSO_4 1.6 mg, ZnCl_2 1.7 mg, CoCl_2 1.7 mg, 水 1000 mL。

酶活曲线测定中采用发酵基础培养基添加氮源胰蛋白胨 2.0 g, 酵母粉 2.0 g, 以汽爆棉秆为唯一碳源, pH 值 6.5~7.0。

单因素试验和正交试验中依据试验设计, 采用发酵基础培养基添加不同氮源, 以汽爆棉秆为唯一碳源, pH 值按试验设计调节。

收稿日期: 2010-06-01 修订日期: 2010-08-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30860014, 30960071)

作者简介: 张 琴(1980—), 女, 四川雅安人, 主要从事生物质微生物转化研究。阿拉尔 塔里木大学生命科学学院, 843300。

Email: jhtabszq@sina.com

*通信作者: 李艳宾(1983—), 男, 湖南保靖县人, 主要从事微生物发酵方面的研究。阿拉尔 塔里木大学生命科学学院, 843300。

Email: ydhant@sina.com

1.1.3 微生物菌种

青霉菌 F51，为塔里木大学应用微生物研究室分离保存。

1.2 主要仪器设备

752N 型紫外可见分光光度计（上海精密科学仪器有限公司）；DK-8D 型电热恒温水浴锅（上海精宏实验设备有限公司）；SHZ-B 型多功能水浴恒温振荡器（江苏金坛正基仪器有限公司）；循环水多用真空泵（巩义市予华仪器有限责任公司）；TD6M 型离心机（湖南省凯达科学仪器有限公司）。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

首先测定微生物降解汽爆棉秆的酶活曲线，确定微生物发酵周期。再在此基础上进行单因素试验，分别研究不同氮源、发酵温度、发酵起始 pH 值和接种量对微生物发酵汽爆棉秆过程中酶活、糖化率和纤维素降解率的影响。结合单因素试验结果，进行正交试验，正交表选用 $L_9(3^4)$ ，试验因素与水平如表 1 所示。

表 1 试验因素与水平表
Table 1 Factors and levels in the experiment

水平	因 素			
	氮源	温度/℃	起始 pH 值	接种量/%
1	硫酸铵 0.2%	20	5.5	1.0
2	尿素 0.2%	25	6.5	5.0
3	麸皮汁 10%	30	7.5	10.0

1.3.2 测定方法

1) 纤维素酶活测定

酶活测定采用 DNS 法^[16]。

CMC 酶活的定义：在 pH 值 5.0，40℃下，每 1 min 内水解 CMC-Na 生成 1 μg 葡萄糖所需酶量为 1 个酶活单位（U）。

FPA 酶活定义：在 pH 值 4.8，50℃下，每 1 min 催化滤纸水解生成 1 μg 葡萄糖所需酶量为 1 个酶活单位（U）。

2) 汽爆棉秆糖化率测定

还原糖测定采用 DNS 法^[16]。糖化率通过以下公式计算^[17-18]

糖化率/%=
$$\frac{\text{还原糖量}\times0.9}{\text{样品中总纤维素}}\times100\%$$

3) 汽爆棉秆纤维素降解率测定

发酵前后纤维素含量按照 Van Soest 等的方法^[19]进行检测。纤维素降解率通过以下公式计算

纤维素降解率(%)=
$$\frac{\text{发酵前纤维素含量}-\text{发酵后纤维素含量}}{\text{发酵前纤维素含量}}\times100\%$$

2 结果与分析

2.1 汽爆棉秆微生物降解周期的确定

PDA 固体斜面培养约 5~7 d 的青霉菌种，制备成浓

度约 $10^9\sim10^{10}$ cfu/L 的孢子悬液，接种发酵培养基，于 30℃ 120 r/min 条件下进行振荡培养。自发酵第 1 天起，每天监测 CMC 酶活和 FPA 酶活，构建了 10 d 内微生物降解汽爆棉秆的酶活曲线，如图 1 所示。微生物对汽爆棉秆的降解启动较快，CMC 酶活和 FPA 酶活均于第 4 天达到最高值，之后酶活有所下降，均维持在较平稳的状态，于第 8 天有所上升，达到一个较小的峰值。从酶活变化来看，可将汽爆棉秆的微生物降解周期控制在 4 d 左右。可见，棉秆经蒸汽爆破预处理，其微生物降解进程加快，这与韩晓芳^[20]等的结论一致。

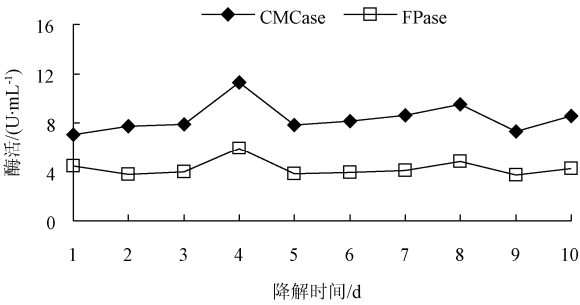


图 1 微生物降解汽爆棉秆的酶活曲线
Fig.1 Curves of cellulase activity in microbial degradation of steam exploded cotton stalks

2.2 单因素试验结果

2.2.1 氮源种类对汽爆棉秆微生物降解的影响

采用不同的氮源硫酸铵、硝酸铵、尿素、10%麸皮汁和酵母粉、蛋白胨，调节起始 pH 值为 5.5，按照 1%接种量进行接种，在 30℃下培养 4 d，检测氮源对汽爆棉秆微生物降解的影响，结果如表 2 所示。由表 2 可知，以 10%麸皮汁作为氮源，能保持最高的 CMC 酶活和 FPA 酶活，且糖化率和纤维素降解率均高于其他的氮源，说明麸皮汁能有效地促进微生物产酶、棉秆的糖化和纤维素降解。故选择麸皮汁为最佳的氮源。

表 2 氮源种类对汽爆棉秆微生物降解的影响
Table 2 Effects of nitrogen source on microbial degradation of steam exploded cotton stalks

指标	氮 源				
	硫酸铵 0.2%	硝酸铵 0.2%	尿素 0.2%	麸皮汁 10%	酵母粉、蛋白胨 0.2%
CMCase/(U·mL ⁻¹)	15.73±2.99	10.42±1.74	17.93±0.39	84.81±4.39	11.29±0.41
Fpase/(U·mL ⁻¹)	4.49±0.44	4.45±0.35	4.51±0.54	39.57±0.66	5.92±0.40
糖化率/%	2.66±0.03	1.6±0.02	2.39±0.16	22.53±3.39	2.30±0.33
纤维素降解率/%	48.70±8.34	36.03±4.74	49.80±5.64	52.92±0.15	39.36±2.13

2.2.2 温度对汽爆棉秆微生物降解的影响

以 10%麸皮汁作氮源，调节起始 pH 值为 5.5，接种量为 1%，分别在 20、25、30、35 和 40℃温度条件下培养，于第 4 天检测 CMC 酶活、FPA 酶活、糖化率和纤维素降解率大小，结果如图 2。

从图 2 可以看出，随着温度升高，酶活、糖化率和纤维素降解率均有所升高，至 25℃达最高值，之后均有

所降低,至 40℃CMC 酶活、糖化率和纤维素降解率有一定提高。综合看来,选取 25℃为较优的培养温度。

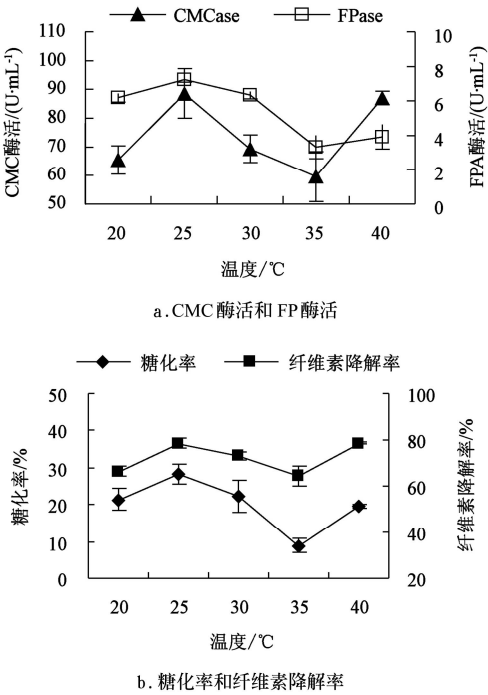


图 2 温度对汽爆棉秆微生物降解的影响
Fig.2 Effects of temperature on microbial degradation of steam exploded cotton stalks

2. 2. 3 起始 pH 值对汽爆棉秆微生物降解的影响

以 10%麸皮汁作氮源,按照 1%接种量进行接种,调节起始 pH 值分别为 4.0、4.5、5.5、6.5 和 7.5,在 25℃条件下培养 4 d,检测 CMC 酶活、FPA 酶活、糖化率和纤维素降解率大小。如图 3 所示,在设定 pH 值范围内,

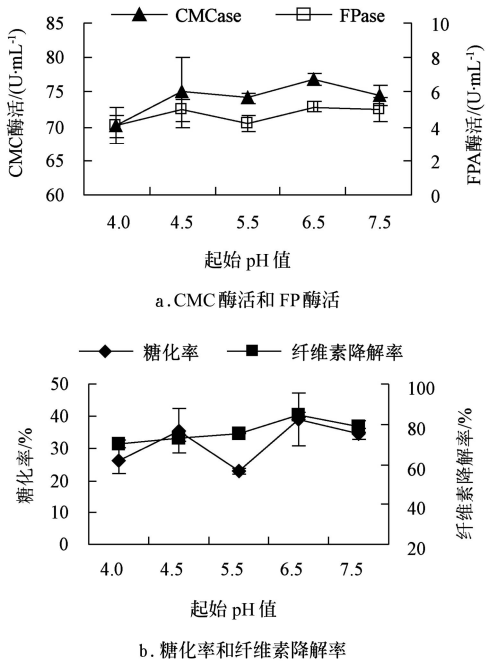


图 3 起始 pH 值对汽爆棉秆微生物降解的影响
Fig.3 Effects of original pH value on microbial degradation of steam exploded cotton stalks

微生物能维持较高的酶活,且使棉秆有较高的糖化率和纤维素降解率,起始 pH 值调节为 6.5 时,能获得最高值,随着 pH 值的提高,CMC 酶活、FPA 酶活、糖化率和纤维素降解率均有所下降,故选择起始 pH 值 6.5 为宜。

2. 2. 4 接种量对汽爆棉秆微生物降解的影响

以 10%麸皮汁作氮源,起始 pH 值 6.5,分别调节接种量为 0.5%、1.0%、5.0%和 10.0%,于 25℃条件下培养 4 d,检测微生物产酶、棉秆糖化和纤维素降解情况,结果见图 4。

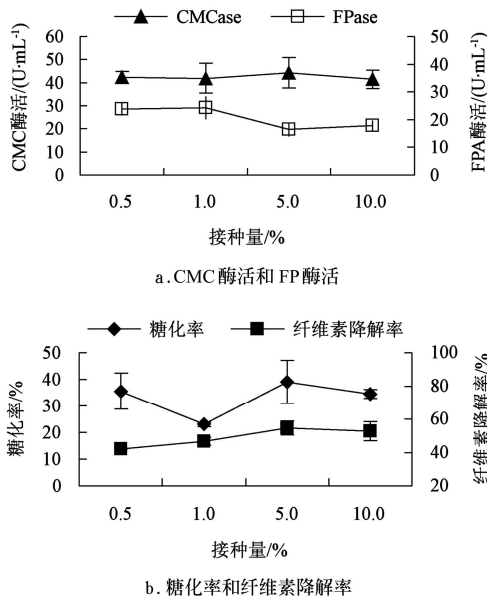


图 4 接种量对汽爆棉秆微生物降解的影响
Fig.4 Effects of inoculation quantity on microbial degradation of steam exploded cotton stalks

从图 4 曲线变化来看,以 5.0%接种量能获得最高的 CMC 酶活、FPA 酶活、糖化率和纤维素降解率,故以接种量 5.0%为较优处理。

2. 3 汽爆棉秆微生物降解的正交试验结果

从表 3 可以看出,在不同的处理条件下,微生物均能维持较高的 CMC 酶活和 FPA 酶活,且汽爆棉秆有较高的糖化率和纤维素降解率,但不同处理条件下各指标的变化也不相同,各因素对酶活、糖化率及纤维素降解率的影响将通过方差分析和显著性检验进一步说明。

表 3 汽爆棉秆微生物降解的正交试验结果								
Table 3 Results of orthogonal experiment in microbial degradation of steam exploded cotton stalks								
试验号	A 氮源	B 温度/℃	C 起始 pH 值	D 接种量/%	CMCase/(U·mL ⁻¹)	FPase/(U·mL ⁻¹)	糖化率/%	纤维素降解率/%
1	硫酸铵 0.2%	20	5.5	1.0	39.16	22.23	15.78	45.81
2	硫酸铵 0.2%	25	6.5	5.0	37.82	19.87	15.86	51.79
3	硫酸铵 0.2%	30	7.5	10.0	38.57	19.77	16.00	52.31
4	尿素 0.2%	20	6.5	10.0	37.44	21.73	16.00	45.08
5	尿素 0.2%	25	7.5	1.0	37.39	18.09	16.51	46.82
6	尿素 0.2%	30	5.5	5.0	37.82	22.86	16.19	43.68
7	麸皮汁 10%	20	7.5	5.0	38.73	25.82	9.68	67.64
8	麸皮汁 10%	25	5.5	1.0	43.19	29.41	15.55	66.13
9	麸皮汁 10%	30	6.5	1.0	68.52	33.06	56.80	74.45

F 值（表 4）结果显示，氮源种类、发酵温度、发酵起始 pH 值和接种量对 CMC 酶活和糖化率的影响均达到极显著水平；氮源种类对 FPA 酶活和纤维素降解率的影响极显著，发酵起始 pH 值对纤维素降解率的影响显著，其余因素的影响不显著。

表 4 各处理因素对汽爆棉秆微生物降解影响的 *F* 值表
Table 4 *F* values of all factors affecting the microbial degradation of steam exploded cotton stalks

因素	CMCase/ (U·mL ⁻¹)	FPase/ (U·mL ⁻¹)	糖化率/ %	纤维素降解率/%	<i>F</i> _{0.05}	<i>F</i> _{0.01}
A	16.68**	9.16**	8.99**	81.64**	4.46	8.65
B	9.97**	0.74	15.63**	1.96	4.46	8.65
C	9.01**	1.61	15.21**	4.60*	4.46	8.65
D	10.27**	0.24	15.69**	0.26	4.46	8.65

注：**表示影响达极显著水平，*表示影响达显著水平。

2. 3. 1 各因素对 CMC 酶活和 FPA 酶活的影响

极差分析结果（表 5）显示，4 因素对汽爆棉秆微生物降解 CMC 酶活的影响程度依次为：氮源种类>接种量>发酵温度>发酵起始 pH 值，对 FPA 酶活的影响程度依次为：氮源种类>发酵起始 pH 值>发酵温度>接种量。可见氮源种类对汽爆棉秆微生物降解酶活的影响最大，说明适合的氮源可能是微生物生长产酶的关键。

通过平均值直观分析和多重比较结果（表 5）可得出 CMC 酶活最优的工艺参数组合为 A₃B₃C₂D₁，即：氮源为麸皮汁，发酵温度 30℃，起始 pH 值 6.5，接种量 1.0%，微生物降解汽爆棉秆能维持最高的 CMC 酶活。FPA 酶活最优的氮源为麸皮汁，其余 3 因素可选择任一水平。

表 5 CMC 酶活和 FPA 酶活平均值比较与极差分析
Table 5 Average comparison and range analysis of CMCase and FPase

因素	CMCase/(U·mL ⁻¹)			<i>R</i>	FPase/(U·mL ⁻¹)			<i>R</i>
	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	<i>k</i> ₃		<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	<i>k</i> ₃	
A	38.52bB	37.55bB	50.15aA	12.60	20.63bB	20.90bB	29.43aA	8.81
B	38.44bB	39.47bB	48.30aA	9.86	23.26aA	22.46aA	25.23aA	2.77
C	40.06bAB	47.92aA	38.23bB	9.70	24.84aA	24.89aA	21.23aA	3.66
D	48.35aA	38.12bB	39.73bB	10.23	24.46aA	22.85aA	23.64aA	1.61

注：*k*₁、*k*₂、*k*₃ 分别为各因素在水平 1、2、3 上的平均值；*R* 为极差值；数字后的字母表示平均值多重比较的差异性，不同小写字母表示平均值各水平间差异显著，不同大写字母表示平均值各水平间差异极显著，字母相同表示差异不显著。下同。

2. 3. 2 各因素对棉秆糖化率和纤维素降解率的影响

通过极差分析（表 6）可知，4 因素对汽爆棉秆糖化率和纤维素降解率的影响程度分别依次为：发酵温度>接种量>发酵起始 pH 值>氮源种类；氮源种类>发酵起始 pH 值>发酵温度>接种量。发酵温度对糖化率的影响最重要，且如表 4 所示，温度对糖化率的影响极显著，可见调控发酵温度对棉秆的有效糖化十分重要；氮源种类是影响纤维素降解率的最主要因素，研究中适当地选择氮源可有效地促进纤维素的降解，为微生物的生长产酶和棉秆的糖化奠定基础。

通过平均值直观分析和多重比较结果（表 6）可得出糖化率最优工艺参数组合为 A₃B₃C₂D₁，即：氮源为麸皮汁，发酵温度 30℃，起始 pH 值 6.5，接种量 1.0%，汽爆棉秆糖化率最高；纤维素降解率最优的氮源为麸皮汁，最佳发酵起始 pH 值为 6.5，其余 2 因素可选择任一水平。

表 6 糖化率和纤维素降解率平均值比较与极差分析
Table 6 Average comparison and range analysis of glycosylated ratio and cellulose-decomposing ratio

因素	糖化率/%			<i>R</i>	纤维素降解率/%			<i>R</i>
	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	<i>k</i> ₃		<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₂	<i>k</i> ₃	
A	15.88bB	16.23bB	27.34aA	11.46	49.97bB	45.19cB	69.41aA	24.21
B	13.82bB	15.98bB	29.66aA	15.84	52.84aA	54.91aA	56.82aA	3.97
C	15.84bB	29.56aA	14.07bB	15.49	51.87bA	57.11aA	55.59abA	5.23
D	29.70aA	13.91bB	15.85bB	15.79	55.69aA	54.37aA	54.51aA	1.32

3 结 论

1) 汽爆棉秆微生物降解启动较快，在第 4 天就能达到酶活最高值，说明经汽爆处理的棉秆有利于微生物的降解，在第 8 天又能达到一较小的峰值，说明其持续发酵的能力较强。

2) 通过单因素和正交试验，优化了汽爆棉秆微生物降解的工艺，得出了最优工艺参数为：氮源为麸皮汁，发酵温度 30℃，起始 pH 值 6.5，接种量 1.0%。在优化条件下，CMC 酶活、FPA 酶活、糖化率和纤维素降解率分别可达 68.52 U/mL、33.06 U/mL、58.60% 和 74.45%。可见，利用微生物降解经蒸汽爆破的棉秆，能获得较高的 CMC 酶活和 FPA 酶活，且棉秆糖化率和纤维素降解率均较高，这为棉秆的高效降解和糖化提供了较优的工艺参考，也将为后期的乙醇生产奠定技术基础。

[参 考 文 献]

[1] 李金霞, 卞科, 许斌. 棉秆资源特性及其在农业上的应用[J]. 河南农业科学, 2007(1): 46—49.

[2] 吴杰. 新疆棉花秸秆利用现状分析和探讨[J]. 中国棉花, 2005, 33(2): 9—11.

[3] 魏敏, 雒秋江, 潘榕, 等. 对棉花秸秆饲用价值的基本评价[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(1): 1—4.

Wei Min, Luo Qiujiang, Pan Rong, et al. Initial evaluation on nutritional value of cotton stalk[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2003, 26(1): 1—4. (in Chinese with English abstract)

[4] Haykir. A comparative study on lignocellulose pretreatments for bioethanol production from cotton stalk[J]. New biotechnology, 2009, 25(1): S253—S254.

[5] 曲音波. 纤维素乙醇产业化[J]. 化学进展, 2007, 19(7/8): 1098—1108.

Qu Yinbo. Industrialization of cellulosic ethanol[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7/8): 1098—1108. (in Chinese with English abstract)

[6] 张百良, 任天保, 王许涛. 纤维素乙醇的研究现状及其发展趋势[J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2007(4): 12—16.

- Zhang Bailiang, Ren Tianbao, Wang Xutao. Research progress and developmental trend of cellulose ethanol[J]. *Agricultural Engineering Technology: Renewable Energy Industry*, 2007(4): 12—16. (in Chinese with English abstract)
- [7] Charlotte S. Can biofuels finally take center stage[J]? *Nature biotechnology*, 2006, 24(7): 777—784.
- [8] Jian S, Ratna R S, Mari C, et al. Effect of microbial pretreatment on enzymatic hydrolysis and fermentation of cotton stalks for ethanol production[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2009, 33(4): 88—96.
- [9] 邓辉, 李春, 李飞, 等. 棉花秸秆糖化碱预处理条件优化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 208—212.
- Deng Hui, Li Chun, Li Fei, et al. Optimized conditions of saccharification of cotton stalk by alkali pretreatment[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(1): 208—212. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张琴, 李艳宾, 岳耀峰, 等. 棉秆的微生物降解及糖化工艺研究[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(2): 142—145.
- Zhang Qin, Li Yanbin, Yue Yaofeng, et al. Degradation and glycosylated technics of cotton stalk by microbes[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2009, 35(2): 142—145. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李艳宾, 张琴, 岳耀峰, 等. 一株青霉对棉秆的降解及糖化工艺研究[J]. *酿酒科技*, 2009(2): 121—123.
- Li Yanbin, Zhang Qin, Yue Yaofeng, et al. Research on the degradation and saccharification of cotton stalk by *Penicillium Q59*[J]. *Liquor-Making Science and Technology*, 2009(2): 121—123. (in Chinese with English abstract)
- [12] 欧阳嘉, 董郑伟, 谢喆, 等. 汽爆玉米秸秆渣诱导产纤维素酶及其水解特性[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2009, 33(4): 96—100.
- Ou Yangjia, Dong Zhengwei, Xie Zhe, et al. Characteristics of cellulase incucement and hydrolysis by steam exploded corn stover[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2009, 33(4): 96—100. (in Chinese with English abstract)
- [13] 罗鹏, 刘忠, 王高升. 酸催化的蒸汽爆破预处理强度对麦草酶水解影响的研究[J]. *林产化学与工业*, 2006, 26(4): 105—109.
- Luo Peng, Liu Zhong, Wang Gaosheng. Study of acid-catalyzed steam explosion pretreatment for enzymatic hydrolysis of wheat straw[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2006, 26(4): 105—109. (in Chinese with English abstract)
- [14] 罗鹏, 刘忠, 杨传民, 等. 蒸汽爆破麦草同步糖化发酵转化乙醇的研究[J]. *化学工程*, 2007, 35(12): 42—45.
- Luo Peng, Liu Zhong, Yang Chuanmin, et al. Study of simultaneous saccharification and fermentation for steam exploded wheat straw to ethanol[J]. *Chemical Engineering*, 2007, 35(12): 42—45. (in Chinese with English abstract)
- [15] 黄秋婷, 张鹏, 张淑荣, 等. 螺杆挤压连续汽爆玉米秸秆的稀酸水解效果[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 190—194.
- Huang Qiuting, Zhang Peng, Zhang Shurong, et al. Hydrolysis effect of dilute acid on corn stalk by continuous screw extrusion steam explosion[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(7): 190—194. (in Chinese with English abstract)
- [16] Ghose T K. Measurement of cellulose activities[J]. *Pure and Applied Chemistry*, 1987, 59(2): 257—268.
- [17] 汤晖, 于淼, 汤树德. 纤维素酶解条件和连续酶解工艺的研究[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2001, 13(4): 79—85.
- Tang Hui, Yu Miao, Tang Shude. Studies on the cellulase hydrolysis condition and the continuous hydrolysis technology[J]. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University*, 2001, 13(4): 79—85. (in Chinese with English abstract)
- [18] 周俊虎, 戚峰, 程军, 等. 不同来源污泥对稻草发酵产氢影响的研究[J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2007, 41(5): 761—764, 822.
- Zhou Junhu, Qi Feng, Cheng Jun, et al. Influence of different digested sludge on bio-hydrogen production from wheat straw by fermentation[J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2007, 41(5): 761—764, 822. (in Chinese with English abstract)
- [19] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583—3597.
- [20] 韩晓芳, 郑连爽, 杜予民, 等. 蒸汽爆破棉秆的微生物降解研究[J]. *中国造纸学报*, 2003, 18(2): 27—29.
- Han Xiaofang, Zheng Lianshuang, Du Yumin, et al. Microbial degradation of exploded cotton stalk[J]. *Transaction of China Pulp and Paper*, 2003, 18(2): 27—29. (in Chinese with English abstract)

Microbial degradation of steam exploded cotton stalks and optimization of fermentation technology

Zhang Qin^{1,2}, Li Yanbin^{1,2*}, Pu Yunfeng¹, Liu Zhanwen¹

(1. College of Life Science, Tarim University, Alaer 843300, China; 2. Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Tarim University, Alaer 843300, China)

Abstract: In order to understand the microbial degradation of steam exploded cotton stalks, the microbial fermentation

period and fermentation technical parameters were studied. Curves of cellulase activity were built to determine the microbial fermentation period of steam exploded cotton stalks, and on the basis of single factors experiments, orthogonal experiment was designed to optimize the fermentation technical parameters. The results revealed that the microbial degradation of steam exploded cotton stalks started quickly, at the 4th day of the fermentation process, CMCase and FPase gained the highest value, so 4-day-stage was determined as the fermentation period. Factors as nitrogen source, fermentation temperature, original pH value and inoculation quantity set in process of steam exploded cotton stalks degradation showed very significant effects on CMCase and glycosylated ratio. Effects of nitrogen source on FPase and cellulose-decomposing ratio reached very significant levels, and the original pH value affected the cellulose-decomposing ratio significantly, while other factors had no significant affect. Considering the effects of all the four factors on cellulase production, glycosylation and cellulose-degradation of steam exploded cotton stalks, the optimized technical conditions were gained: bran extract as nitrogen source, temperature at 30°C, original pH value at 6.5, inoculation quantity at 1.0%. The research results provide technical reference for further exploitation of cotton stalks.

Key words: cotton, straw, fermentation, microbial degradation, technology, optimization