

# 不同预处理条件对棉秆厌氧发酵产沼气的影 响

李艳宾<sup>1,2,3</sup>, 张琴<sup>1,3\*</sup>, 李为<sup>2</sup>, 余龙江<sup>2</sup>

(1. 塔里木大学生命科学学院, 阿拉尔 843300; 2. 华中科技大学生命科学与技术学院资源生物学与生物技术研究所, 武汉 430074; 3. 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 843300)

**摘 要:** 为探索合理的预处理方法以实现棉秆的高效厌氧发酵, 研究了高温处理、NaOH 处理与生物处理 3 种预处理方式对棉秆厌氧发酵产沼气的影 响。经预处理的棉秆以 8% 的总固体质量分数, 在常温 (23±2)℃ 下进行沼气发酵试验。结果表明, 经 NaOH 及生物预处理, 棉秆的木质纤维结构破坏较明显, 而高温预处理对棉秆的表观结构影响不大。3 种预处理均能有效缩短发酵启动时间, 并不同程度提高棉秆产沼气的能 力, 作用大小依次为: NaOH 处理 > 高温预处理 > 生物预处理。其中以质量分数为 4% 的 NaOH 对棉秆 (含水率为 60%) 处理 10 d 的效果最佳, 发酵 61 d 后的总产气量可达 31 022.5 mL, 日均产气量为 508.57 mL/d, 总固体产气率、挥发性固体产气率分别为 193.89、216.30 mL/g, 要远高于其他处理及对照, 有效地提高了棉秆厌氧发酵的效率。

**关键词:** 棉花, 厌氧消化, 沼气, 预处理, 棉秆

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.049

中图分类号: S216.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-02-0287-06

李艳宾, 张琴, 李为, 等. 不同预处理条件对棉秆厌氧发酵产沼气的影 响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 287-292.

Li Yanbin, Zhang Qin, Li Wei, et al. Effects of different pretreatment conditions on biogas production by anaerobic fermentation of cotton stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 287-292. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

新疆是中国最大的棉花主产区, 每年生产棉花约 200 万 t, 产生秸秆约 600~750 万 t<sup>[1]</sup>。对于棉秆的处理, 除少量用于造纸、制板、建筑等之外, 目前大部分仍然是直接粉碎还田, 不但生物转化率低, 还可能对棉花的生长带来抑制作用<sup>[2]</sup>。如何实现棉秆资源的高效转化与利用成为亟待解决的问题。棉秆是一类木质化程度非常高的作物秸秆, 因此对棉秆的资源化利用也主要围绕其木质纤维组分的降解展开, 如利用微生物降解并糖化棉秆以生产燃料乙醇<sup>[3-5]</sup>、热裂解棉秆<sup>[6-7]</sup>等。此外, 棉秆也具有一定的厌氧发酵产沼气的潜力<sup>[8-9]</sup>, 但由于木质素对纤维素的包埋作用及纤维素本身高度结晶, 使其产沼气能 力的大小受制于木质纤维素的降解程度<sup>[10-11]</sup>, 因此, 在发酵前对棉秆进行有效预处理十分必要。

木质纤维素类原料沼气的预处理方法主要有粉碎与研磨、高温处理、碱处理、生物处理等几种<sup>[12]</sup>, 对于不同的原料, 各处理方法的效果各异, 且同一方法中, 也受到处理水平诸如温度、碱浓度、微生物菌种及培养条件等的影响, 导致最终的产气情况差异很大<sup>[13-15]</sup>。可

见, 利用某种木质纤维类原料进行沼气发酵, 首先应进行预处理方法的筛选。目前对于棉秆沼气发酵预处理的研究鲜有报道, 仅见采用简单微生物预处理的方式<sup>[10]</sup>。为此, 本文在棉秆机械粉碎的基础上, 对棉秆分别进行了高温预处理、碱预处理及生物预处理, 每种处理方式又分别设置不同水平 (选用不同菌种), 比较处理后棉秆的发酵情况及沼气产量, 旨在寻找出适于棉秆的预处理方式及处理条件, 以期为棉秆的高效厌氧发酵生产沼气提供理论依据与技术保证。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与接种物

棉秆采自新疆阿拉尔棉田, 风干后粉碎, 过 1 mm 筛备用, 物料特性见表 1。

接种物为以猪粪为原料的发酵残余物, 用棉秆浸提液进行驯化, 物料特性见表 1。

表 1 棉秆与接种物的物料特性  
Table 1 Characteristics of cotton stalk and inoculums

项目	物料	
	棉秆	接种物
含水率/%	7.00	96.21
总固体质量分数(TS)/%	93.00	3.79
挥发性固体质量分数(VS)/%	89.64	60.35
灰分质量分数/%	10.36	39.65
C 质量分数/%	56.76	3.30
N 质量分数/%	1.15	0.34
木质素质量分数/%	18.35	/
纤维素质量分数/%	38.15	/
半纤维素质量分数/%	12.91	/

收稿日期: 2010-07-07 修订日期: 2010-08-18

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

作者简介: 李艳宾 (1983—), 男, 湖南保靖县人, 硕士, 讲师, 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: ydham@sina.com

\*通信作者: 张琴 (1980—), 女, 四川雅安人, 讲师, 主要从事生物质转化研究。阿拉尔 塔里木大学生命科学学院, 843300。

Email: jhtabszq@sina.com

## 1.2 试验装置

试验装置主要由 2 500 mL 广口消化瓶、2 500 mL 集气瓶和 1 000 mL 的锥形瓶三部分组成。锥形瓶用于收集从集气瓶中排出的水，以计算产气量。消化瓶与集气瓶瓶口用胶塞塞紧，各部分用乳胶管连接，所有接口处均用石蜡和凡士林密封。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 原料预处理

#### 1) 高温预处理

将经粉碎的棉秆置于 100℃、110℃、120℃ 高压灭菌锅中处理 2 h。

#### 2) NaOH 预处理

将经粉碎的棉秆用蒸馏水把预处理体系含水率调为 60%，以占棉秆干物质质量分数 4%、6%、8% 的 NaOH 处理 10 d。

#### 3) 生物预处理

菌种为黄孢原毛平革菌 (*Phanerochaete chrysosporium* CICC40719, 本文简称为 PC 菌)、云芝菌 (*Trametes versicolor* CICC14001)，均属于白腐菌，购自中国工业微生物菌种保藏管理中心，由本研究室驯化保藏。

称取适量经灭菌的棉秆，加入 1.5 倍体积 (v:w) 的营养液，将经活化好的菌种接入棉秆。PC 菌以孢子悬液接种，浓度为  $10^8$  cfu/mL，接种量 10%；云芝菌以菌块接种，按每 100 g 棉秆接种一个平皿的云芝菌，含水率均调节至 60%，拌匀后发酵 20 d。

营养液：酒石酸铵 0.2 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.2 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.05 g,  $\text{CaCl}_2$  0.01 g, 无机盐溶液 1 mL, 维生素溶液 0.5 mL, 加蒸馏水至 1 000 mL。(无机盐溶液：氨三乙酸 1.5 g,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.0 g,  $\text{MnSO}_4$  0.5 g,  $\text{NaCl}$  1.0 g,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.1 g,  $\text{CoSO}_4$  0.1 g,  $\text{CaCl}_2$  0.082 g,  $\text{ZnSO}_4$  0.1 g,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.01 g,  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$  0.01 g,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0.01 g, 蒸馏水 1 000 mL。维生素溶液：叶酸 2 mg, D-泛酸钙 5 mg, 对氨基苯甲酸 5 mg,  $\text{VB}_1$  5 mg,  $\text{VB}_2$  5 mg,  $\text{VB}_6$  10 mg,  $\text{VB}_{12}$  0.1 mg, 生物素 2 mg, 烟酸 5 mg, 蒸馏水 1 000 mL。)

对各预处理前后的棉秆样品，采用扫描电子显微镜 (SEM) 进行观察分析。

### 1.3.2 装罐发酵

装料系数为发酵罐的 80%，即：2 500 mL $\times$ 80%=2 000 mL；发酵液总固体质量分数为 8%；C/N 比均用尿素调至 25:1；接种物的接种量（接种物干物质质量占发酵原料干物质质量的百分比）为 20%；发酵液 pH 值用稀盐酸和 NaOH 溶液调节并维持在 6.8~7.4 之间。以未经预处理的棉秆为对照，每处理做 3 次重复，在室温下进行发酵，平均发酵温度约为 (23 $\pm$ 2)℃。每天定时测量产气量，待产气稳定后测定各处理气体中的甲烷体积分数。

## 1.4 测定项目与方法

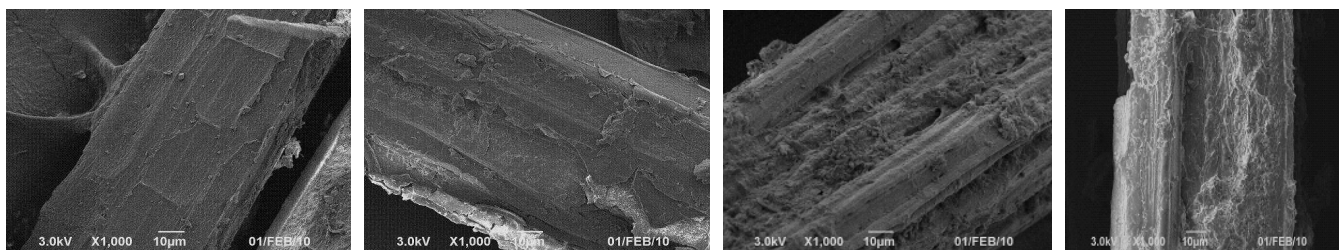
含水量、总固体 (TS)、挥发性固体 (VS)：沼气常规分析法<sup>[16]</sup>；灰分：依据 TS、VS 测定值计算；产气量：排水法测定；pH 值：PHS-3C 型 pH 计测定； $\text{CH}_4$  体积分数：NaOH 碱液吸收法<sup>[17]</sup>；全 C：重铬酸钾滴定法；全 N：半微量蒸馏法；木质素、纤维素、半纤维素：中性洗涤法<sup>[18]</sup>。

试验结束后，综合数据进行指标分析，计算出 TS 产气率、VS 产气率<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 预处理前后棉秆的表观结构变化

部分预处理前后棉秆表观结构的扫描电镜观察结果见图 1。从图中可以看出，未经处理的棉秆原样外表面结构致密，规则平滑，因而不利于纤维素水解酶的结合。而经过 4% NaOH 与 PC 菌处理过的棉秆，其外表面致密的木质纤维结构已受到明显的破坏，呈现出细胞壁松弛，孔隙度增大，这样增大了棉秆的比表面积，有利于纤维素酶的结合。两者相比，4% NaOH 处理的棉秆其松弛程度和空隙要多于 PC 菌处理。120℃ 高温预处理过的棉秆表面虽然也出现一些空隙，但其结构依然比较致密，与原样相差不大。因此，从处理前后棉秆的表观结构来看，NaOH 预处理的效果较明显，高温预处理对棉秆的表观结构影响不大。



a. 未处理棉秆

b. 120℃ 高温预处理

c. 4% NaOH 预处理

d. PC 菌处理

图 1 不同预处理条件下棉秆的扫描电子显微镜 (SEM) 图 ( $\times 1\ 000$ )Fig.1 Scanning electron microscopic graphs of cotton stalk in different pretreatments( $\times 1\ 000$ )

## 2.2 不同预处理对棉秆厌氧发酵产气的影响

各处理日产气量和总气体产量如图 2 和图 3 所示。从图 2 中可以看出，棉秆经预处理后，均能迅速启动发酵，除了云芝处理以外，其余均从第 2 天开始就有气体产生。而未经预处理的棉秆发酵启动十分缓慢，直到第

16 天后才收集到气体，且日产气量起伏较大，直到第 49 天后才有较为稳定的上升趋势。

从各预处理方法来看，NaOH 处理的效果最好，不同浓度的处理有着相似的变化趋势，均可迅速产气，并都在第 14 天左右达到产气高峰，此后平稳保持一个较高的

产气水平，到第 36 天左右出现拐点，之后日产气量逐步下降。在 3 种浓度中，又以 4% NaOH 处理的效果最佳，产气速率与累积产气量均要明显高于其他处理。PC 菌、云芝菌处理的棉秆分别在第 16 天、第 20 天出现产气峰值，此后产气较为缓慢，日产气量逐步下降。高温预处理棉秆在发酵前期的产气情况与生物预处理的有些类似，始终保持一个较低的产气率，但从第 31 天起，各温度水平的处理却一致出现日产气量增加的趋势，并在第 41 天左右达到一个高峰。但总体来说，高温与生物预处理的效果明显不及碱处理，其产气速率与累积产气量均要低很多。

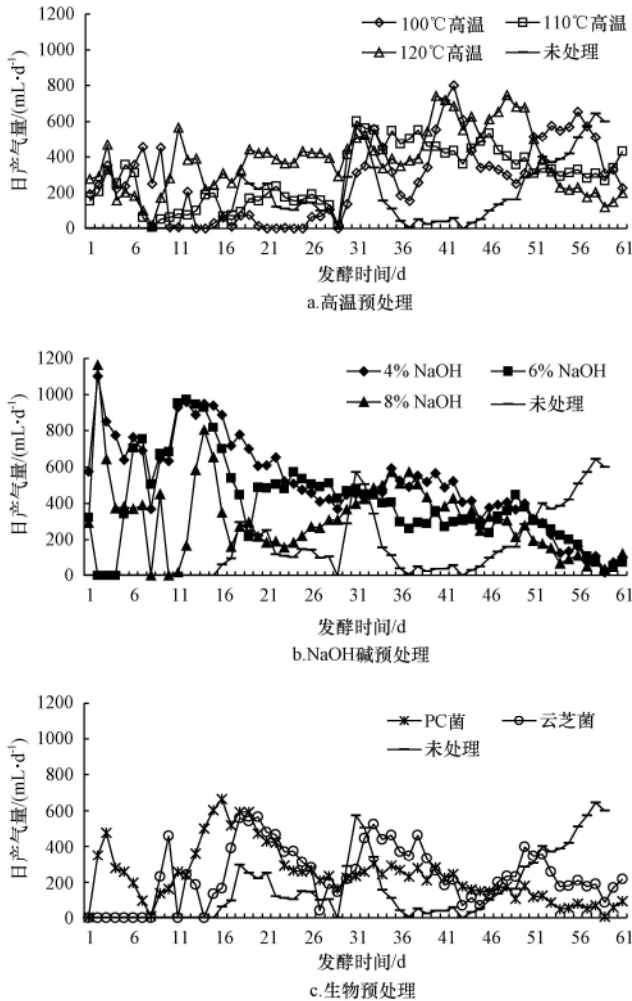


图 2 各处理日产气量随发酵时间的变化

Fig.2 Changes of daily biogas production of different treatments

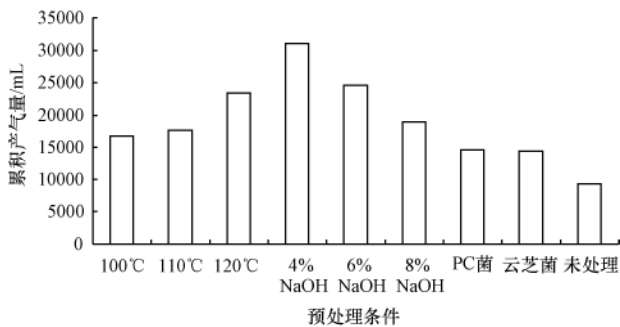


图 3 各处理的累积产气量

Fig.3 Cumulative biogas production of different treatments

表 2 为各处理的总产气量、日均产气量、TS 产气率、VS 产气率与气体中甲烷体积分数的测定与计算结果，其中 TS 产气率即单位原料干物质产气量，主要反映原料的产气潜力；VS 产气率即单位原料挥发性有机物产气量，主要反映原料有机质的转化潜力<sup>[20]</sup>。

表 2 各预处理的棉秆发酵产气特性比较

Table 2 Comparison of biogas-producing characteristics of cotton stalk in different pretreatments

预处理方法	总产气量/ mL	日均产气量/ (mL·d <sup>-1</sup> )	TS 产气率/ (mL·g <sup>-1</sup> )	VS 产气率/ (mL·g <sup>-1</sup> )	甲烷体 积分数/%
100℃	16 824.00	275.80	105.15	117.30	49.8
110℃	17 731.00	290.67	110.82	123.63	48.0
120℃	23 395.33	383.50	146.22	163.12	51.8
4% NaOH	31 022.50	508.57	193.89	216.30	51.4
6% NaOH	24 631.00	403.79	153.84	171.74	44.0
8% NaOH	19 031.50	311.99	118.95	132.69	46.5
PC 菌	14 592.50	239.22	91.20	101.74	50.2
云芝菌	14 406.00	236.16	90.04	100.44	49.7
未处理	9 315.00	176.31	67.22	74.99	46.5

从表 2 中可以看出，未经处理的棉秆，其总产气量仅为 9 315.00 mL，日均产气量、TS 产气率、VS 产气率仅分别为 176.31 mL/d、67.22 mL/g、74.99 mL/g，而经预处理后，各产气率指标均有大幅的提升。其中 NaOH 处理的效果普遍较好，4% NaOH 处理后棉秆的总产气量达到 31 022.50 mL，日均产气量、TS 产气率、VS 产气率分别为 508.57 mL/d、193.89 mL/g、216.30 mL/g，要高于有报道的稻草、麦草、柑橘渣等一些原料的产气率<sup>[20-21]</sup>，气体中 CH<sub>4</sub> 的体积分数为 51.4%，气体质量较好。但随着碱浓度的提高，棉秆的产气率反而有下降的趋势，可见，在选择 NaOH 作为棉秆预处理方式时，应选择好恰当的浓度。

高温预处理的效果仅次于碱预处理，随着处理温度的升高，棉秆产气率也逐渐升高，这与其他相关研究结果类似<sup>[13]</sup>。其中在 120℃ 下处理 2 h 后，棉秆的总产气量可达 23 395.33 mL，日均产气量、TS 产气率、VS 产气率分别达 383.50 mL/d、146.22 mL/g、163.12 mL/g，各产气指标优于 8% NaOH 的处理，与 6% NaOH 处理的效果接近，而其气体中 CH<sub>4</sub> 的体积分数为 51.8%，与 4% NaOH 处理相当。但高温预处理方式需要额外的能量消耗，势必增加预处理成本。

此次生物预处理选用了木质素降解能力很强的黄孢原毛平革菌 (PC 菌) 与云芝 2 种白腐菌，扫描电镜结果显示棉秆的木质纤维结构已受到微生物一定程度的破坏，其产气率较之未处理对照也均有显著提高，然而却要远低于碱处理，甚至不及高温处理。其中 PC 菌处理的总产气量、日均产气量、TS 产气率、VS 产气率分别为 14 592.50 mL、239.22 mL/d、91.20 mL/g、101.74 mL/g，与 4% NaOH 处理的相比低了一倍多。云芝菌处理与 PC 菌处理的指标值基本一样。这可能是白腐真菌在分解棉秆木质素的过程中产生并积累了一些抑制纤维素水解酶活性的代谢产物<sup>[4]</sup>，从而降低了白腐菌预处理对棉秆沼气发

酵的促进作用。同时,由于微生物生长代谢过程存在复杂性和多变性,不同微生物降解不同原料所需要的培养条件也各异。因此,虽然从理论上来说微生物(如白腐菌等)能够彻底降解掉木质素,从而消除阻碍纤维素酶与纤维素接触的壁垒,促进后期沼气发酵,但生物预处理目前大多仍停留在试验阶段,离实际应用还有一定的差距<sup>[12]</sup>。

综上,认为本试验所采用的几种预处理方法中,NaOH处理最适合作为棉秆沼气发酵的预处理方式,高温预处理次之,生物预处理效果相对最差。碱处理中,以4%的NaOH对含水率为60%的棉秆处理10d,能够对后期发酵起到非常好的促进作用,此时TS产气率可达193.89 mL/g,按新疆年产棉秆600~750万t,如果能充分用于沼气发酵,可生产出 $(1.16\sim 1.35)\times 10^9\text{ m}^3$ 的沼气,可见开发潜力巨大。

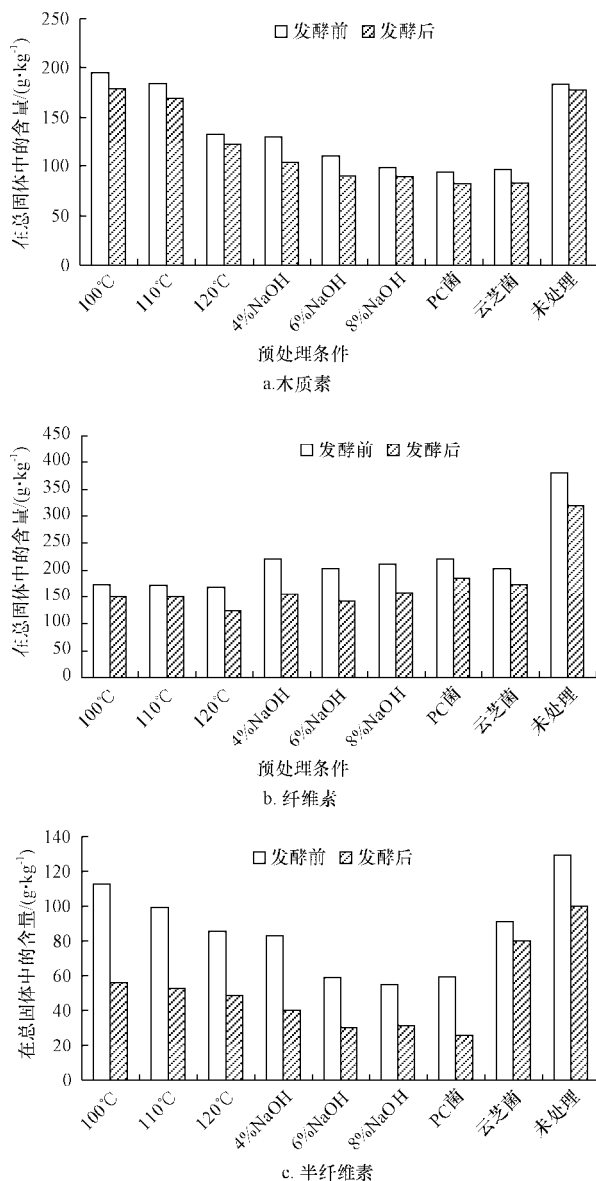


图4 各预处理棉秆沼气发酵前后的木质素、纤维素及半纤维素含量的变化

Fig.4 Changes of lignin, cellulose and hemicellulose content of cotton stalk in different pretreatments before and after biogas fermentation

## 2.3 不同预处理棉秆发酵前后木质纤维素含量的变化

对各种预处理棉秆沼气发酵前后的木质素、纤维素及半纤维素含量进行了测定,并将结果以各组分在棉秆原样总固体(TS)中的含量进行表示,结果如图4所示。各处理发酵前木质素、纤维素及半纤维素的含量体现了经预处理后木质纤维组分的变化,从图4中可以看出,100、110°C的预处理对棉秆木质素的破坏很少,而120°C处理后木质素的损失率相对较大;NaOH处理和生物预处理棉秆的木质素损失较多,破坏程度较大。半纤维素含量的变化趋势与木质素的基本一致。而从发酵前纤维素的含量来看,经预处理后棉秆纤维素的损失率普遍较大,其中高温预处理后纤维素的损失率在50%以上,NaOH处理和生物预处理的也在42%~47%之间。

从发酵前后各处理木质纤维组分的对比来看,发酵对棉秆木质素的降解率均不高,其中高温预处理的降解率在8%左右;4% NaOH处理的木质素降解率相对最高,为20.36%,6%、8%的处理分别为17.88%、8.51%;生物预处理的降解率在12%~14%之间。从纤维素含量的变化来看,NaOH处理的纤维素降解率要普遍高于其他处理,4%、6%、8%浓度下的降解率分别为29.55%、30.00%、24.62%;120°C高温处理的纤维素降解率也达到26.47%,这与产气量大小的情况基本一致,说明纤维素是沼气发酵的主要有效利用组分。预处理后发酵也有效提高了半纤维素的降解率,除云芝菌处理外,其他各处理的半纤维素降解率均在40%~57%左右。

从图4中还可看出,发酵后的物料中仍残留有大量的纤维素类物质,尚具有很大的发酵潜力。

## 3 结论

1) 扫描电镜检测观察结果表明,经NaOH及生物预处理后,棉秆的木质纤维结构遭到较明显的破坏,而高温预处理对棉秆的表观结构影响不大。

2) 相对于未经预处理对照,高温处理、NaOH处理及生物处理等方式均能有效缩短棉秆发酵启动时间,并不同程度提高棉秆产沼气的能力。其中NaOH预处理最适合棉秆沼气发酵,关键在于选择合适的碱浓度。以4% NaOH对含水率为60%的棉秆处理10d后,以8%的总固体浓度在常温下( $23\pm 2$ )°C发酵61d产气最多,棉秆的总产气量达到31022.50 mL,与对照(9315.00 mL)相比,提高了233%,此时日均产气量、TS产气率、VS产气率分别为508.57 mL/d、193.89 mL/g、216.30 mL/g。

3) 试验结果同时也显示,各处理发酵后的物料中仍残留有数量较大的纤维素类物质,说明棉秆仍未充分发挥出其沼气发酵潜力,后续研究可对碱处理的条件,如碱的种类、碱浓度及处理时间等因素进行进一步的优化。

### [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] 李艳宾, 万传星, 张琴, 等. 棉秆腐解液对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(6):

- 1258—1262.  
Li Yanbin, Wan Chuanxing, Zhang Qin, et al. Effect of decomposed liquids of cotton stalk on cotton seeds germination and seedling growth[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(6): 1258—1262. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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): 104—107.  
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): 104—107. (in Chinese with English abstract)
- [4] Shi Jian, Sharma-Shivappa R R, Chinn M, et al. Effect of microbial pretreatment on enzymatic hydrolysis and fermentation of cotton stalks for ethanol production[J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(1): 88—96.
- [5] Shi Jian, Chinn M S, Sharma-Shivappa R R. Microbial pretreatment of cotton stalks by solid state cultivation of *Phanerochaete chrysosporium*[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(14): 6556—6564.
- [6] Hu Song, Jess A, Xu Minhou. Kinetic study of Chinese biomass slow pyrolysis: Comparison of different kinetic models[J]. Fuel, 2007, 86(17/18): 2778—2788.
- [7] 周岭, 周福君, 蒋恩臣, 等. 棉秆不同组分热解特性及动力学[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 220—225.  
Zhou Ling, Zhou Fujun, Jiang Enchen, et al. Pyrolysis characteristics and dynamics of different components of cotton stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 220—225. (in Chinese with English abstract)
- [8] Isci A, Demirel G N. Biogas production potential from cotton wastes[J]. Renewable Energy, 2007, 32(5): 750—757.
- [9] 王江丽, 李为, 严波, 等. 棉秆沼气发酵潜力的研究[J]. 浙江农业科学, 2009(1): 183—186.
- [10] 白云, 李为, 陈春, 等. 棉秆沼气发酵生物预处理及接种物的驯化[J]. 微生物学通报, 2010, 37(4): 513—519.  
Bai Yun, Li Wei, Chen Chun, et al. Biological pretreatment of cotton stalks and domestication of inocula in biogas fermentation[J]. Microbiology China, 2010, 37(4): 513—519. (in Chinese with English abstract)
- [11] Hendriks A T W M, Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1): 10—18.
- [12] 陈小华, 朱洪光. 农作物秸秆产沼气研究进展与展望[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 279—283.  
Chen Xiaohua, Zhu Hongguang. Research progress and prospect on producing biogas from crop straws[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 279—283. (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhang Ruihong, Zhang Zhiqin. Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system[J]. Bioresource Technology, 1999, 68(3): 235—245.
- [14] Luo Qingming, Li Xiujin, Zhu Baoning, et al. Anaerobic biogasification of NaOH-treated corn stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 111—115.
- [15] Ghost A, Bhattacharyya B C. Biomethanation of white rotted and brown rotted rice straw[J]. Bioprocess engineering, 1999, 20(4): 297—302.
- [16] 中国科学院成都生物研究所编. 沼气发酵常规分析[M]. 北京: 北京科技出版社, 1984.
- [17] 任南琪, 王爱杰. 厌氧生物技术原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [18] 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—359.
- [19] 刘战广, 朱洪光, 王彪, 等. 粪草比对干式厌氧发酵产沼气效果的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 196—200.  
Liu Zhanguang, Zhu Hongguang, Wang Biao, et al. Effect of ratios of manure to crop on dry anaerobic digestion for biogas production[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 196—200. (in Chinese with English abstract)
- [20] 朱洪光, 陈小华, 唐集兴. 以互花米草为原料生产沼气的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 201—204.  
Zhu Hongguang, Chen Xiaohua, Tang Jixing. Pilot study on employing *Spartina alterniflora* as material for producing biogas by biogasification[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 201—204. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李艳宾, 张磊, 张琴, 等. 常温下厌氧消化技术处理柑橘皮渣的研究[J]. 能源工程, 2007(5): 53—56.  
Li Yanbin, Zhang Lei, Zhang Qin, et al. Study on treatment of citrus pulp by anaerobic digestion at ambient temperature[J]. Energy Engineering, 2007(5): 53—56. (in Chinese with English abstract)

## Effects of different pretreatment conditions on biogas production by anaerobic fermentation of cotton stalk

Li Yanbin<sup>1,2,3</sup>, Zhang Qin<sup>1,3\*</sup>, Li Wei<sup>2</sup>, Yu Longjiang<sup>2</sup>

(1. College of Life Science, Tarim University, Alaer 843300, China; 2. Institute of Resource Biology and Biotechnology, College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 3. Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Tarim University, Alaer 843300, China)

**Abstract:** In order to search for fitting pretreatment methods in effective anaerobic fermentation of cotton stalks, effects

of three pretreatments including high temperature, alkali treatment and microbial inoculation on biogas production by anaerobic fermentation of cotton stalks were studied. The pretreated cotton stalks were fermented in the biogas production experiments with total solid weight percentage of 8% under room temperature of  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ . The results showed that in cotton stalks pretreated with NaOH and microbial inoculation, the structure of lignocellulose was broken clearly, while high temperature affected the external structure indistinctively. All the three pretreatments effectively shortened the starting period of anaerobic fermentation, and improved the ability to biogas production of cotton stalks. Effects of the three pretreatments on biogas production followed the order that: alkali treatment > high temperature > microbial inoculation. Of all the conditions, the pretreatment of 4%(w/w) NaOH with 10 days treating period for cotton stalks (with 60% moisture) exhibited the best effect, which could gain the total gas production of 31 022.5 mL after 61 day fermentation. And in this fermentation, the daily average gas production achieved 508.57 mL/d, TS gas production and VS gas production reached 193.89 mL/g and 216.30 mL/g separately, which were much higher than those of the control and other pretreatments. This indicated that this kind of alkali treatment was the optimal, efficiently promoted biogas production in anaerobic fermentation of cotton stalks.

**Key words:** cotton, anaerobic digestion, biogas, pretreatment, cotton stalks