

# NaOH 预处理对水稻秸秆沼气发酵的影响

覃国栋, 刘荣厚<sup>\*</sup>, 孙辰

(上海交通大学农业与生物学院生物质能研究中心, 上海 200240)

**摘要:** 以水稻秸秆为原料, 在试验室自行设计的小型沼气发酵装置上进行了厌氧发酵试验, 研究不同质量百分数 NaOH 预处理对水稻秸秆沼气发酵的影响。结果表明, 经过 NaOH 预处理后, 水稻秸秆组分被破坏, 其中半纤维素降解十分明显; 产气量较对照组有明显增加, 发酵时间有所缩短。其中 NaOH 质量百分数为 6% 的处理组产气率最高, 为 246.6 mL/g (干物质), 且甲烷体积分数最高达 50%。综合来看, 以 NaOH 质量百分数为 6% 的预处理效果最为理想。

**关键词:** 秸秆, 沼气, 发酵, NaOH 预处理

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.012

中图分类号: TK421

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0059-05

覃国栋, 刘荣厚, 孙辰. NaOH 预处理对水稻秸秆沼气发酵的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 59-63.  
Qin Guodong, Liu Ronghou, Sun Chen. Effects of different concentrations of NaOH pretreatment on anaerobic digestion of rice straw for biogas production[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 59-63. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国是主要的水稻生产国家, 2009 年生产的水稻秸秆多达  $1.9 \times 10^9$  t<sup>[1]</sup>。大量的水稻秸秆被随意丢弃和焚烧<sup>[2]</sup>, 造成极大的环境污染, 影响农民的生活质量, 也造成资源的极大浪费。如何解决农村随意丢弃、焚烧水稻秸秆带来的环境问题、提高农民生活质量, 已成为新农村建设的一项重要课题。利用水稻秸秆制取沼气, 不仅可以解决农村沼气池原料缺乏问题, 还可以从根源上减少秸秆焚烧带来的众多环境问题; 与此同时, 通过沼气发酵杀灭了水稻秸秆上携带的病菌虫卵, 避免了水稻秸秆直接还田引发的作物病虫害问题<sup>[3]</sup>。此外, 沼液沼渣中含有丰富的氨基酸和微量元素, 是良好的饲料和饲料添加剂, 还可作为优质有机肥<sup>[4]</sup>。

20 世纪 60 年代, 中国曾经主要以秸秆作为沼气发酵原料。但是到目前为止, 秸秆制取沼气尚有许多技术难题没有解决, 还不能全面推广。秸秆中含有大量难降解的纤维素、半纤维素、木质素等, 并且组成结构复杂, 主要成分纤维素是结构紧密的结晶体, 它是由  $\beta$ -1,4 糖苷键结合而成的高分子多糖, 半纤维素和木质素共价结合, 而且纤维素和半纤维素被木质素包裹<sup>[5]</sup>。如直接用秸秆来发酵产沼气, 则会出现发酵启动慢、发酵时间延长、产气率低、秸秆利用率低等问题<sup>[6]</sup>。秸秆预处理的主要作用使纤维素、半纤维素与木质素分离开, 增加酶与纤维素

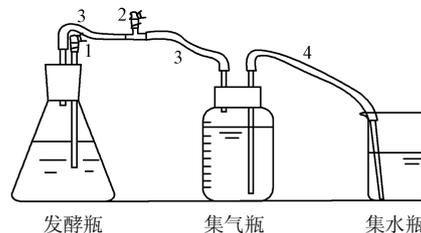
的可接触面积, 从而提高酶解的效率<sup>[7-8]</sup>。将秸秆预处理后再发酵, 则可提高产气率, 缩短启动时间; 同时, 预处理后的原料密度变大, 原料进料后很快下沉到发酵池底, 有利于发酵过程中发酵微生物与原料充分接触, 也解决了沼气发酵时浮渣结壳问题<sup>[9]</sup>。目前预处理秸秆的方法主要有物理法、化学法、生物法。国内外很多学者研究表明, 利用 NaOH 处理麦秆或玉米秸秆能获得较好的效果<sup>[10-12]</sup>。

本文研究了不同质量百分数 NaOH 预处理对水稻秸秆发酵产沼气的影响, 试图得到一种合适的秸秆预处理方法和 NaOH 质量百分数, 为秸秆沼气的发展提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

试验装置为上海交通大学农业与生物学院生物质能工程实验室自行设计的厌氧发酵装置, 主要由恒温水浴摇床、发酵瓶、集气瓶、集水瓶等部分组成<sup>[13]</sup>。如图 1 所示。



1. 取样口 2. 取气口 3. 导气管 4. 导水管  
图 1 厌氧消化试验装置结构示意图

Fig.1 Schematic of anaerobic digestion equipment

### 1.2 试验原材料

水稻秸秆取自上海市南汇区果园村自然条件下风干的水稻秸秆。将水稻秸秆洗净晾干后用铡刀切成 2~3 cm 的小段, 置烘箱中 55℃ 烘 5~6 h, 并测定其理化指标, 见表 1。

收稿日期: 2010-11-14 修订日期: 2011-02-19

基金项目: 上海市重大科技攻关项目 (08DZ1900405)

作者简介: 覃国栋 (1985—), 男, 主要从事沼气发酵方面研究。上海 上海交通大学农业与生物学院生物质能研究中心, 200240。

Email: qinguodong123abc@163.com

\*通信作者: 刘荣厚 (1960—) 男, 辽宁人, 教授, 博士, 博士生导师, 中国农业工程学会会员 (E041200022S), 主要从事可再生能源与环境工程的研究与教学工作。上海 上海交通大学农业与生物学院生物质能工程研究中心, 200240。Email: liurhou@sjtu.edu.cn

表1 水稻秸秆的理化指标

Table 1 Physical and chemical characteristics of rice straw

挥发性固体	总固体	含水率	灰分	纤维素	半纤维素	木质素
87.1±1.35	89.8±2.34	10.2±0.45	11.5±0.08	29.2±1.07	15.5±0.64	12.3±0.55

注：表中%数是质量百分数

### 1.3 接种物

沼气发酵接种物是含有大量沼气发酵微生物的厌氧活性污泥，与发酵原料混合后，在一定条件下其中的微生物能很快恢复活性并进行沼气发酵。本试验选用本实验室经中温厌氧沼气发酵后发酵瓶中的底泥做为接种物，其 TS=7.3%，VS=48.8%TS，含水率=92.7%，pH=8.2。

### 1.4 试验设计

试验设4个NaOH质量百分数处理水平：分别为2%，4%，6%，8%（NaOH的质量占原料质量的百分比），每个处理设2次重复，同时设置一个空白参比组（不加NaOH）。以上所有处理均放置于20℃恒温恒湿箱中，30d后取样分析组分变化，然后发酵。各个发酵瓶中发酵料液质量百分数为6%，接种物质量百分数为30%，发酵液总质量800g，每800g发酵液加入1g活性碳粉，然后调节初始pH值至7.0附近。将发酵装置放入恒温振荡水浴箱，在转速100 r/min，发酵温度为中温（38℃）条件下发酵。各个处理需要添加的原料的质量按公式（1）计算。

$$X = (M_0 \times Z - TS_{\text{接种物}} \times Y) / TS_{\text{秸秆}} \quad (1)$$

式中，X为原料质量，g； $M_0$ 为发酵料液质量百分数，%；Z为发酵液总质量，g； $TS_{\text{接种物}}$ 为接种物总固体质量百分数；Y为接种物质量，g， $TS_{\text{秸秆}}$ 为预处理后秸秆原料的总固体质量百分数，%。

### 1.5 测定项目

总固体质量百分数（TS）：烘干法（真空干燥箱中105℃下烘4~6h）；VS测定：烘干法（马弗炉中550℃下烘1h）；含水率：烘干法（真空干燥箱中105℃下烘3~4h）；pH值：通过精密pH计（PHS-3C）测定；产气量：采用排水集气法收集气体，每天定时用量筒测量集水瓶中排出的水量，并做以记录；气体成分：采用气相色谱仪测定（岛津GC-14B；TCD检测器；TDX-02柱；载气：氩气，流量：20 mL/min；柱温：100℃；TCD温度：120℃；进样口温度：100℃；进样量100 μL）；纤维素，半纤维素，木质素采用VAN SOEST法测定<sup>[14]</sup>。试验结束后，综合试验数据计算TS产气率，即单位原料干物质产气体积（mL），主要反映原料的产气潜力。计算如公式（2）所示

$$TS \text{ 产气率 (mL/g)} = \frac{V}{X \cdot TS_{\text{秸秆}}} \quad (2)$$

式中，X为原料质量，g； $TS_{\text{秸秆}}$ 为预处理后秸秆原料的总固体质量百分数，%；V为累计产气量，mL

## 2 结果与分析

### 2.1 木质素、纤维素和半纤维素质量百分数的变化

图2为NaOH预处理后水稻秸秆各组分质量百分数

变化。从图2中可以看出，水稻秸秆各种组分中以纤维素的质量百分数为最高，其次为半纤维素，木质素的最低。而经过NaOH预处理后，各处理组半纤维素的质量百分数均下降，并且半纤维素下降的幅度随着NaOH质量百分数的升高而增大；其中8%的NaOH处理组半纤维素质量百分数为0，说明已经被完全降解了。而各处理组的木质素质量百分数较对照组有所下降，其中以6%的处理组木质素损失率最高，为17.1%。这与Rebecca A Silverstein等人的结论NaOH溶液有较强的脱木质素能力相符<sup>[15]</sup>。各处理组的纤维素质量百分数均有所下降，并且纤维素损失率随着NaOH处理质量百分数的升高有所增加，8%的处理组损失率最大为16.4%。

NaOH预处理可改善秸秆被厌氧消化的性质，使秸秆更易被厌氧微生物消化分解<sup>[6]</sup>。采用NaOH对水稻进行预处理时，NaOH的OH-能削弱纤维素和半纤维素之间的氢键，破坏木质素与多糖之间的酯键和醚键结合，使纤维素、半纤维素与木质素分离并发生部分分解；将不溶的木质素变成易溶的羟基木质素；并溶解半纤维素，使秸秆的细胞壁呈现膨胀，结构变得疏松，结晶纤维素变成无定型纤维素等，从而利于酶和纤维素的接触<sup>[16-17]</sup>。经NaOH处理后的水稻秸秆的木质素、纤维素和半纤维素的质量百分数都有所下降。其中以半纤维素的损失最大，说明NaOH预处理对水稻秸秆中半纤维素的分解最为理想。木质素、纤维素和半纤维素质量百分数的降低有利于水稻秸秆厌氧消化效率的提高。有研究表明，在NaOH预处理过程中，木质素、纤维素和半纤维素被转化成了某些更易被厌氧菌利用的可溶性物质，更有利于之后发酵过程的进行<sup>[18]</sup>。

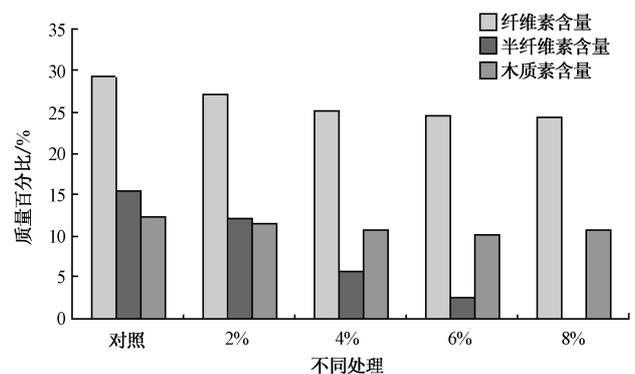


图2 NaOH预处理后各处理组组分质量百分数变化  
Fig.2 Changes of contents of each group after NaOH pretreatment

### 2.2 发酵过程中pH值的变化

pH值是沼气发酵中能表现反应过程的一个重要指标，沼气微生物发酵所需的pH必须在4.0~8.5之间，最适pH值为7.0<sup>[19]</sup>。图3是水稻秸秆厌氧发酵过程中pH值的变化。从图3中可以看出，对照组在发酵初期pH值是呈下降趋势，到发酵的第21天，pH值降到最低点，为6.91，然后逐渐上升。与其他NaOH预处理组相比，对照组的pH值最低。这是因为在发酵初期，对照组由于

没有经过处理, 水稻秸秆中的组分结合紧密, 产甲烷菌可利用的底物浓度低, 从而产甲烷菌活性低; 此阶段主要以降解酸化水稻秸秆作用为主, 产酸菌在这一阶段占优势, 有机酸不断增多, 造成 pH 值下降; 随着发酵的进行, 发酵液有机酸不断被产甲烷菌消耗, 产生甲烷和二氧化碳, pH 值逐渐上升。而由于水稻秸秆组分比较难于分解, 所以对对照组对水稻秸秆的利用率比较低, 产甲烷菌的活性与其他处理组相比一直维持较低水平, 进而引起 pH 值比处理组低。

各处理组 pH 值的变化趋势一致, 且均在 7.2~7.8 之间变化。发酵初期 pH 值逐渐上升, 到发酵进行到第 14 天后到达最高值, 然后开始下降; 到发酵进行到第 21 天左右, pH 值降到最低值, 然后又开始上升, 整个过程中 pH 值存在波动起伏, 这与发酵过程中微生物的活动密切相关。由于经过预处理, 水稻秸秆组分被分解成小分子物质, 在发酵初期由于产甲烷菌可以利用的底物浓度高, 产甲烷菌大量繁殖, 消耗掉发酵液中的有机酸, 引起 pH 值上升; 而随着反应的进行发酵液中有有机酸逐渐被消耗, 产甲烷菌活力降低, 产酸菌开始活跃, 有机酸开始积累, 从而造成 pH 值下降; 当有机酸积累到一定的程度, 产甲烷菌又开始活跃, 消耗有机酸, 引起 pH 值上升。各预处理组碱的质量百分比数越高, pH 值也越高, 这可能是由于 NaOH 预处理质量百分比数越大, 对于水稻秸秆的分解程度越高, 在发酵液中相应的微生物可利用的底物越充足, 微生物生长繁殖越活跃, 从而引起 pH 值相应的变化, 所以发酵液酸碱性的规律性变化可以表征反应的情况<sup>[20]</sup>。由此可见, 经过 NaOH 预处理后能使 pH 值在适当范围内波动, 有利于微生物的活动, 使反应顺利进行。

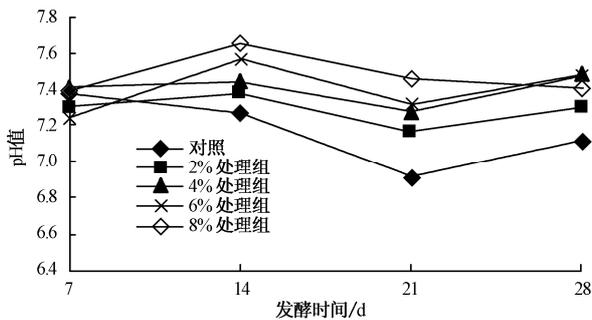


图 3 不同处理厌氧发酵过程中 pH 值的变化

Fig.3 Changes of pH values of the anaerobic fermentation

### 2.3 发酵过程中产气量的变化

图 4 和图 5 分别是日产气量变化图和总产气量变化图。从图 4 可以看出各处理组很快就进入发酵的产气高峰期, 而对照组基本上没有出现产气的高峰期。NaOH 质量百分比数为 6% 的处理组从第 1 天开始日产气量迅速增加, 到第 4 天达到一个顶峰 600 mL 左右, 然后在日产气量比较大的水平上小幅波动了几天之后开始下降, 到第 10 天下降到 400 mL 左右, 然后开始上升, 到达另一个峰值 600 mL 左右后, 经过短暂的停留后下降到 100 ml 左右

并稳定一段时间后日产气量逐渐下降直至最后不产气。NaOH 质量百分比数为 8% 的处理组变化趋势与 6% 处理组相似。NaOH 质量百分比数为 2% 和 4% 的处理组情况相似。从第 1 天产气量上升到 100 mL 左右, 下降一点之后开始上升到达 300 mL 左右, 并在这一水平维持了一段时间后下降到 100 mL 左右, 在这一水平维持了一段时间后开始逐渐下降直到不产气为止。总的来说, 处理组的日产气量变化趋势是一致的, 都是从开始产气又一个迅猛上升的过程, 然后开始下降, 这一过程持续大约 3~4 d 左右, 从第 4 天开始各处理组均进入一个产气高峰期, 在高峰期维持一段时间后日产气量开始下降并稳定在一定水平。这是由于经过 NaOH 预处理后, 水稻秸秆组分被分解, 发酵液中的产酸菌和产甲烷菌能很容易的利用底物来生长繁殖, 进而产生大量的气体。随着反应的进行, 这些组分被大量的消耗急剧减少, 产酸菌和产甲烷菌的生长繁殖迅速减慢, 产气量迅速下降。当下降到一定程度时, 产酸菌和产甲烷菌分解利用水稻秸秆作用趋于稳定平衡, 产气量也相应的维持在一定水平, 但是因为这时底物浓度比开始时小, 所以产气量也比开始时小。随着水稻秸秆被不断的分解利用, 剩余的可利用的底物越来越少, 产气量也越来越小, 最后直到产气停止。从整个过程来看, 在这几个处理组中 NaOH 预处理的质量百分数越高日产气量的最大值越大, 并且发酵时间有所缩短, 与对照组相比 6%、8% 处理组发酵时间缩短 7 d。由此可以看出, NaOH 预处理可以使产气量增加, 这与杨董艳等试验得到的 NaOH 处理能提高秸秆发酵的产气量的结论一致<sup>[12,21-22]</sup>。而且 NaOH 预处理还能使反应迅速启动, 发酵时间缩短, 各处理对比来看以 6% 的处理组为最

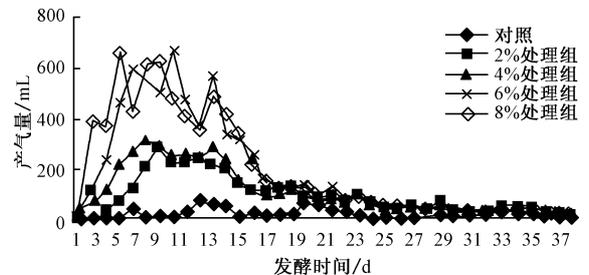


图 4 不同处理厌氧发酵过程中日产气量的变化

Fig 4 Changes of daily biogas production during anaerobic fermentation

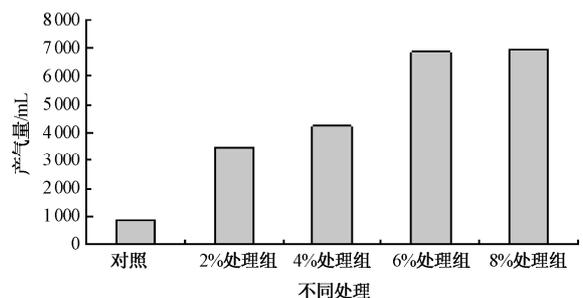


图 5 不同 NaOH 质量百分数预处理下总产气量的变化

Fig.5 Changes of total biogas production during the anaerobic fermentation

优。从图 5 中可以看出,总产量各处理组比对照组相比均大幅增加,其中以 8% 的处理组产气量为最大,与对照组相比产气量提高了 728%,6% 的处理组对照组相比产气量提高了 716.8%。处理质量百分数为 6% 与 8% 的总产气量相差不大,故综合来看,产气量以质量百分数为 6% 的处理为最优。

表 2 是各处理组沼渣质量、原料减少质量与单位总固体产气率的变化。从表 2 中可以看出,各处理组的沼渣质量均比对照组少;并且随着 NaOH 质量百分比数的增加,沼渣的质量越小。NaOH 质量百分比数为 6% 和 8% 的处理组沼渣质量为 2.7 和 2.0 g,分别仅为对照组质量的 23.1% 和 17.1%。各组处理组原料减少的质量均比对照组多,说明各处理组被反应消化掉的物质比对照组多;并随着 NaOH 质量百分数的增加,消化反应掉的物质逐渐增多,这反映出经过 NaOH 处理后,改变了水稻秸秆的可降解利用性,更有利于发酵的进行<sup>[6]</sup>。各处理组的单位总固体产气率要远远高于对照组;其中 NaOH 质量百分数为 6% 的最高,为 246.6 mL/g,比对照组提高了 450.4%,说明 NaOH 处理有利于提高单位总固体产气率,提高了沼气微生物对原料利用,消耗的干物质转更多的转化为沼气。综合来看,以 6% 的处理组效果为最好。

表 2 不同处理沼渣质量、原材料减少质量与单位总固体产气率变化

Table 2 Quality of residue and reduce of raw materials and gas production of unit TS

	对照组	2%处理组	4%处理组	6%处理组	8%处理组
沼渣质量/g	11.7±0.08 (a)	7.9±0.11 (b)	4.9±0.06 (c)	2.7±0.28 (d)	2.0±0.14 (e)
原料减少质量/g	18.7±0.8 (a)	22.5±1.35 (b)	25.5±0.54 (c)	27.7±0.42 (d)	28.4±0.28 (d)
单位 TS 产气率/(mL·gTS <sup>-1</sup> )	44.8±1.9 (a)	155.4±1.9 (b)	165.8±3.5 (c)	246.6±3.8 (d)	243.7±2.4 (d)

注:数据用 spss17.0 软件分析,其 ( $p < 0.05$ ,  $n=2$ )

## 2.4 发酵过程中甲烷的变化

图 6 是发酵过程中沼气中甲烷体积分数的变化。从图 6 中可以看出,各处理组甲烷体积分数从发酵开始阶段便很快就达到 40%,并在这一水平上小幅增加。而对照组在开始阶段甲烷含量很低,只有 15% 左右,后逐渐升直到 40% 左右。这与 pH 值的变化在机理上相符合。由于对照组在开始阶段产甲烷菌活性不高,主要以产酸菌的活动为主,从而出现 pH 降低,甲烷含量低的现象。各处理组的甲烷含量从开始很快达到 40% 左右,这可能是由于经过 NaOH 预处理后,底物分解为更容易被沼气微生物利用的小分子组分,接种物中产酸菌和产甲烷菌迅速生长繁殖,产甲烷菌有充足的原料反应,故从一开始甲烷含量就达到较高的水平;之后由于底物浓度减小,产酸菌生长繁殖速率下降,但这时由于产酸菌产生的代谢物还没有被产甲烷菌消耗完,故产甲烷菌的生长繁殖比产酸菌要快,造成甲烷含量缓步上升;随着反应的进行,当产酸菌和产甲烷菌的生长繁殖趋于稳定平衡时,气体中甲烷的含量也基本稳定。总的来看 NaOH 预处理

后甲烷的含量能迅速达到较高的水平,其中 6% 的处理组甲烷含量最高能达到 50%。而为对照组的气体甲烷含量存在一个不断增长的过程,直到反应进行到一半左右才达到较高的水平。不同处理组之间甲烷含量差别不大。由此可见,NaOH 预处理能稳定并小幅提高甲烷含量。这是因为有更多的可溶性有机物可供甲烷菌利用<sup>[23-25]</sup>。

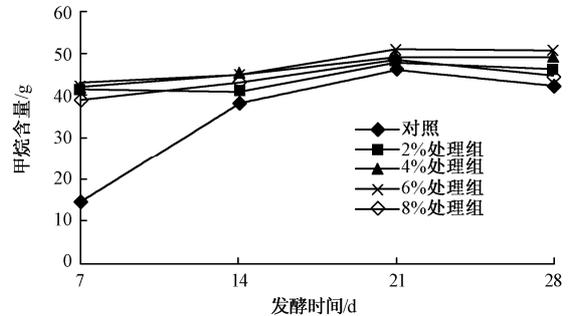


图 6 厌氧发酵过程中甲烷体积分数的变化

Fig.6 Changes of methane content during the anaerobic fermentation

## 3 结论

1) 从各项指标来看,经过 NaOH 预处理后,各组的发酵产沼气量,单位总固体产气率, pH 值,甲烷体积分数,原料各组分的质量百分数均优于对照组,说明 NaOH 预处理有利于秸秆沼气发酵。

2) 从预处理后组分的变化来看,NaOH 质量百分数为 6% 的处理组木质素含量下降最多,而木质素是不易被利用的成分,因此 6% 的处理组最利于发酵。

3) 经过 NaOH 预处理后,日产气量和总产气量均增加,其中 NaOH 质量百分数为 8% 的处理组总产气量最高为 6 930 mL; NaOH 质量百分数为 6% 的处理组单位总固体产气率为 246.6 mL/g,为最高。

4) 经过 NaOH 预处理后,甲烷含量能很快维持在稳定水平。其中,6% 的处理组含量最高可达 50%。

5) 综合产气率、总产气量、原料组分含量变化等指标,以及考虑到经济等因素,对于水稻秸秆沼气发酵预处理的碱的质量百分数以 6% 为最好。

## [参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2009 年中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [2] 姚向君, 田宜水. 生物质能资源清洁转化利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 24-25.
- [3] 边炳鑫, 赵由才. 农业固体废弃物的处理综合利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 290-291.
- [4] 王远远, 刘荣厚. 沼液综合利用研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1089-1091.
- [5] 陈洪章, 李佐虎. 纤维素原料微生物与生物量全利用 [J]. 生物技术通报, 2002, (2): 25-29.
- [6] 孙辰, 刘荣厚. 稻秆 NaOH 预处理及厌氧发酵产沼气的试验研究 [J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 127-129.
- [7] 焦瑞身. 微生物工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 246-247.

- [8] 周俊虎. 不同来源污泥对水稻发酵产氢影响的研究[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(5): 761-764.
- [9] 岑承志, 陈砺, 严宗诚, 等. 沼气发酵技术发展及应用现状[J]. 广东化工, 2009, 26(6): 78-79.
- [10] 高志坚. 玉米秸秆厌氧消化试验研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2004: 1-62.
- [11] 郑万里. 热碱预处理对厌氧发酵的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 151.
- [12] Yang Dongyan, Li Xiujin. Improving biogas production of corn stalk through chemical and biological preteament: a preliminary comparison study [J]. Transactions of the CASE, 2003, 19(5): 209-212.
- [13] 刘荣厚, 王远远, 孙辰. 蔬菜废弃物厌氧发酵制取沼气的试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 209-213.
- [14] 宁开桂. 实用饲料分析手册[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [15] Rebecca A Silverstein, Chen Ye, Ratna R Sharma-Shivappa. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(16): 3000-3011.
- [16] 庞云芝, 李秀金. 温度和化学预处理对玉米秸厌氧消化产气量的影响[J]. 生物加工程, 2005, 3(1): 37-41.
- [17] Gould J M. Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agriculture residues[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1985, 27(3): 225-231.
- [18] 罗鹏, 刘忠. 蒸汽爆破法预处理木质纤维原料的研究[J]. 林业科技, 2005, 30(3): 53-56.
- [19] Hwang M H, Jang N J, Hyum S H, et al. Anaerobic bio-hydrogen production from ethanol fermentation: the role of pH[J]. J. Biotechnol., 2004, 111(3): 297-309.
- [20] 刘荣厚, 郝元元, 叶子良, 等. 沼气发酵工艺参数对沼气及沼液成分影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增 1): 85-88.
- [21] López Torres M, Espinosa Llorens M D C, Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes[J]. Waste Manage, 2008, 28(11): 2229-2234.
- [22] Lin J G, Chang C N, Chang S C. Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization[J]. Bioresour. Technol., 1997, 62(3): 85-90.
- [23] Chen Y, Cheng J J, Creamer K S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(10): 4044-4064.
- [24] Feijoo G, Mendez R, Lema J M. Sodium inhibition in the anaerobic digestion process: antagonism and adaptation phenomena[J]. Enzyme Microb. Technol., 1995, 17(2): 180-188.
- [25] Lin Yunqin, Wang Dehan, Wu Shaoquan, et al. Alkali pretreatment enhances biogas production in the anaerobic digestion of pulp and paper sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 170(1): 366-373.

## Effects of different concentrations of NaOH pretreatment on anaerobic digestion of rice straw for biogas production

Qin Guodong, Liu Ronghou<sup>\*</sup>, Sun Chen

(Biomass Energy Engineering Research Centre, School of Agriculture and Biology,  
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** The effects of different concentrations of NaOH pretreatment on anaerobic digestion of rice straw for biogas production were investigated. The tests were carried out in self-made anaerobic digestion equipment with rice straw as raw material. The results showed that the components of rice straw were damaged after NaOH pretreatment, and the component of hemicellulose was obviously degraded. Gas yield of pretreatment groups increased significantly compared with the control group. In addition, the fermentation time was shortened. The pretreatment group with NaOH concentration of 6% had the largest gas production yield which was 246.6 mL/g dry material, and the methane content was up to 50%. On the whole, the best concentration of NaOH pretreatment for rice straw was 6%.

**Key words:** straw, biogas, fermentation, NaOH pretreatment