

NaOH与H₂O₂综合预处理水稻秸秆及其 厌氧发酵产沼气效果研究

马瑞洁, 覃国栋, 李 坤, 崔少峰, 武丽娟, 刘荣厚

(上海交通大学农业与生物学院生物质能工程研究中心, 上海 200240)

摘 要: 为实现沼气工程中农作物秸秆的有效利用、解决沼气工程对畜禽养殖厂过度依赖的问题提供有效途径,以水稻秸秆作为厌氧发酵原料,采用NaOH和H₂O₂方法对水稻秸秆进行预处理。采用自制的批次厌氧发酵装置进行沼气厌氧发酵试验,探讨不同浓度的NaOH、H₂O₂及预处理时间对水稻秸秆沼气发酵的影响。采用响应面优化方法对预处理工艺条件进行优化,得到最优预处理条件为:NaOH浓度5.71%,H₂O₂浓度1.48%,处理时间12 h。验证实验中甲烷含量最高可达61.2%,沼气产量为15866 mL,与预测值16061 mL的相对误差为1.21%,小于5%,由验证实验可知模型是有效的。

关键词: 秸秆; 响应面实验; 厌氧发酵; 沼气; 预处理

中图分类号: X713

文献标志码: A

0 引 言

目前,大型沼气工程的主要原料是畜禽粪便^[1],这使得沼气工程依赖于畜禽养殖,工程运行受畜禽养殖场运行稳定性的影响。将秸秆能源化,应用于沼气工程,可有效缓解这一问题^[2]。中国秸秆资源丰富、产量大、分布广泛^[3]。2014年,中国主要大田作物秸秆资源总量为8.97亿t,可收集资源量为7.69亿t^[4]。然而,现阶段秸秆资源化利用不充分^[5],存在秸秆焚烧问题,既污染环境,又浪费资源^[6]。发展秸秆沼气既可避免秸秆焚烧造成的环境问题,又可实现秸秆资源化利用^[7]。

秸秆沼气是指通过各种微生物作用,将农业作物秸秆在厌氧条件下降解为简单而稳定的物质和以甲烷为主要成分的沼气^[8]。通过厌氧发酵制取沼气可实现农业废弃物的资源化,对缓解农村能源紧张,解决环境污染具有重要意义。但由于秸秆类原料中木质素、纤维素和半纤维素含量较高,且结构紧密、不易降解^[9],将其作为原料在厌氧发酵过程中,存在发酵所需的启动时间长、发酵周期长、单位质量原料产气率低、秸秆降解程度和利用率低,进出料难度较大等问题^[10],大大限制了厌氧发酵在处理秸秆废弃物中的应用。秸秆预处理可使

纤维素、半纤维素与木质素分离开,改善秸秆的质地、结构,从而被厌氧菌利用,提高产气率^[11-12]。

常见的预处理方法主要包括物理、化学和生物法,其中化学法为比较常见且高效的秸秆预处理方法^[13]。NaOH为常见的碱处理试剂之一,用稀NaOH溶液对秸秆等木质纤维素类原料进行预处理,在分离木质素与碳水化合物化合物的同时可使原料膨胀,内表面积明显增加、降低结晶度及聚合度^[14]。H₂O₂是一种价格低廉的有效强氧化剂,在被用于预处理时,通常会与碱性试剂联合使用,有助于达到更好地去除木质素的效果,从而提升秸秆降解程度^[15]。为了在提高秸秆降解率的同时降低对环境的污染,本文选择NaOH和H₂O₂对水稻秸秆进行预处理。研究不同NaOH和H₂O₂的添加量及预处理时间对产气的影响,探讨提高水稻秸秆产气量和产气效率的化学预处理条件,以期为水稻秸秆厌氧消化产沼气技术的研发提供科学的参考。

1 材料及方法

1.1 接种物及发酵底物

接种物:接种物是厌氧发酵残余物,即沼液和沼渣,

收稿日期:2017-12-18

基金项目:国家自然科学基金(51376121)

通信作者:刘荣厚(1960—),男,博士、教授、博士生导师,主要从事可再生能源与环境工程方面的研究。liurhou@sjtu.edu.cn

取自上海市崇明岛前卫村正常运行的沼气工程,其厌氧产气原料以猪粪为主。

水稻秸秆:取自上海市南汇区新场镇果园村,自然条件下风干接种物及稻草秸秆组分含量见表 1。

表 1 接种物及稻草秸秆组分含量(%)

Table 1 Contents of inoculum and rice straw(%)

挥发性固体质量分数	总固体质量分数	含水率	灰分	纤维素含量	半纤维素含量	木质素含量
—	10.47	89.53	—	—	—	—
78.30	89.80	10.20	11.50	29.20	15.50	12.30

1.2 试验装置

沼气发酵装置(图 1)由实验室自主组装。主要部件包括:WHY-2 型水浴恒温振荡器(江苏省金坛市金城国盛实验仪器厂)、1000 mL 发酵瓶、1000 mL 集气瓶和集水瓶。其中,发酵瓶和集气瓶规格相同。水浴振荡器用于调控发酵温度和振荡频率,保证恒温发酵温度为 37 ℃。发酵装置各主要部分相连组成一个通路,由橡胶塞、硬塑管和乳胶管相连。为了保证厌氧发酵条件,各接口用凡士林和液体胶密封,同时确保发酵产生的沼气不被空气混杂。试验过程中定期取样,所以发酵瓶上设置料液取样口,出气导气管上设置气体采样口。

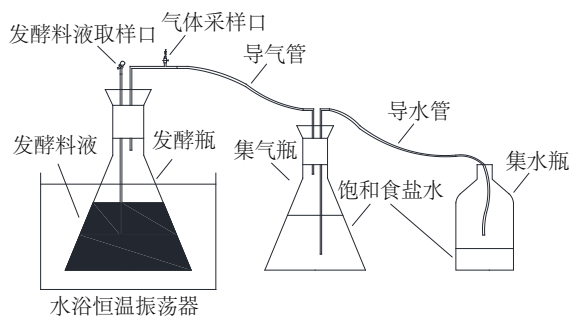


图 1 沼气发酵装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

1.3 试验设计

采用水稻秸秆作为厌氧发酵原料,选用 NaOH 和 H₂O₂ 对其进行综合预处理。以 NaOH 浓度(2%、4%、6%),H₂O₂ 浓度(0.5%、1.0%、1.5%),预处理时间(12、24、36 h)3 个因素作为综合预处理自变量(见表 2),其中 NaOH 与 H₂O₂ 的添加量皆为稻草秸秆质量分数,以预处理后的水稻秸秆厌氧发酵总产气量为响应值,根据 Response Surface 的 Box-Behnken 试验设计,进行水稻秸秆预处理。试验设计中设置 5 个中心重复点,用以估计试验误差^[16]。试验中设置空白对照组,用接种物单独

发酵,各试验组总产气量实测值为减去接种物单独发酵产气量的数值,用以保证准确计算水稻秸秆的产气总量。发酵试验过程:采用批次发酵试验方法,预处理后的水稻秸秆一次性投入到发酵瓶,加入 30%接种物,添加适量水,以保证发酵料液总重为 800 g。用稀盐酸调节发酵液 pH 值为 7.0,水浴振荡器温度设定为 37 ℃。

表 2 试验因素水平和编码

Table 2 Test factor level and coding

x_i 水平	NaOH 浓度/%	H ₂ O ₂ 浓度/%	预处理时间/h
-1	2	0.5	12
0	4	1.0	24
1	6	1.5	36

注: x_i 一自变量编码值, $x_i = (X_i - X_0)/\Delta x$, 其中 X_i 表示自变量真实值, X_0 表示试验中心点自变量的真实值, Δx 表示自变量的变化步长, $i=1,2,3$ 。

通过排水集气法测定每天产气体积并记录室温及气压,用于将产气体积换算为标况下的气体体积。试验前期,每天测定气体组成成分,产气稳定后,改为每 5 天测定一次。定期测定各试验组发酵料液挥发性脂肪酸(VFA)含量。各试验组连续 15 d 不产生气体时,认定为厌氧发酵试验结束。由于发酵试验受多因素影响,无法重复,为保证试验准确性,每组试验同时进行一组平行试验。

1.4 分析方法

总固体含量(TS):烘干法(真空干燥箱 105 ℃下烘干 4~6 h);VS 测定:烘干法(马弗炉 600 ℃,1 h);挥发性有机酸(VFA):分光光度法(采用发酵液经 10 min, 6000 r/min,离心后测定)。氨态氮:蒸馏-滴定法;pH 值:使用精密 pH 计(PHS-3C)测定;产气量:排水集气法;气体成分:主要测定沼气组成,记录 CO₂、CH₄所占百分比,气相色谱仪(岛津 GC-14B,TCD 检测器;TDX-02 柱,日本岛津)。

2 结果与分析

2.1 水稻秸秆 NaOH 与 H₂O₂ 综合预处理厌氧发酵产沼气响应面二次回归模型及方差分析

表 3 所示为 BBD 试验设计及其试验结果。将厌氧发酵总产气量 Y 设定为预测响应值,水稻秸秆经 NaOH 和 H₂O₂ 综合预处理后厌氧发酵总产气量预测模型二次

多项方程为:

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_{12}X_1X_2 + A_{13}X_1X_3 + A_{23}X_2X_3 + A_{11}X_1^2 + A_{22}X_2^2 + A_{33}X_3^2 \quad (1)$$

式中, A_0 ——常数项; A_1 、 A_2 、 A_3 ——3 个因变量对应的线性系数; A_{12} 、 A_{13} 、 A_{23} ——3 个因变量两两之间的交互项系数; A_{11} 、 A_{22} 、 A_{33} ——3 个因变量各自的二次项系数; X_1 、 X_2 、 X_3 ——NaOH 溶度(%)、H₂O₂ 浓度(%)、预处理时间(h)。

表 3 BBD 试验设计及其对应的试验结果

Table 3 BBD design and test result

试验号	NaOH 浓度 X_1 /%	H ₂ O ₂ 浓度 X_2 /%	预处理时间 X_3 /h	总产气量实测值/mL	总产气量预测响应值/mL
1	4	0.5	36	14019	14350
2	6	1.0	36	12563	13063
3	4	0.5	12	13298	13955
4	4	1.0	24	15591	15223
5	6	1.5	24	14814	14971
6	4	1.0	24	15476	15223
7	2	0.5	24	12661	12504
8	2	1.0	36	12026	11852
9	4	1.5	36	13584	12927
10	4	1.5	12	15042	14711
11	4	1.0	24	15403	15223
12	6	0.5	24	14307	13476
13	4	1.0	24	13928	15223
14	6	1.0	12	15172	15346
15	4	1.0	24	15715	15223
16	2	1.0	12	11458	10958
17	2	1.5	24	9512	10343

用 Design Expert.V.8.0.5 软件处理试验数据,针对表 3 中厌氧发酵总产气量实测值进行二次多项式回归拟合,得出的厌氧发酵总产气量(Y)对 3 个因变量 NaOH 浓度(X_1)、H₂O₂ 浓度(X_2)、预处理的时间(X_3)的回归方程式(2):

$$Y = -357 + 4160.28X_1 + 3062.15X_2 + 403.5X_3 + 914X_1X_2 - 33.09X_1X_3 - 90.79X_2X_3 - 447.5X_{12}^2 - 2436.2X_{22}^2 - 4.36X_{32}^2 \quad (2)$$

表 4 所示为二次回归模型及方差分析表。采用 F 检验法对方程的回归系数进行显著性检验^[17]。由表 4 得知,二次回归方程模型的 $F=6.24$,模型 $P=0.0123 < 0.05$,表明该模型具有显著性意义。NaOH 浓度(X_1)和 X_1^2 的 P 值分别为 0.0025 和 0.0038,在 $P < 0.01$ 水平上有显著性影响,表明 NaOH 浓度(X_1)对

发酵总产气量影响明显。由表 4 分析可看出,H₂O₂ 浓度(X_2)、预处理时间(X_3)及自变量两两之间 X_1X_2 、 X_1X_3 和 X_2X_3 的交互项对应的 $P > 0.05$,说明影响不显著,即 H₂O₂ 浓度(X_2)、预处理时间(X_3)对总产气量影响程度较低。模型失拟项(Lack of Fit)对应的 F 值为 1.905 为 $P=0.2702 > 0.05$,无显著性意义,显示出该模型的稳定性,模型反应的各因素影响程度符合实际作用效果。

通过分析二次回归模型的可信度,模型(2)的精确度为 7.55(>4)说明模型的分辨力足够;决定系数 $R^2=0.889$,表明模型(2)可说明其中 88.9%的变化,但仍存在 11.1%的变化未被模型(2)说明;调整决定系数 $R_{Adj}^2=0.747$,表明模型(2)可解释 74.7%响应值的变化。综上表明,模型(2)的拟合程度较高,可用于描述

NaOH 与 H_2O_2 综合预处理稻草秸秆对厌氧发酵总产气量的影响,在试验设定区间范围内,可用该模型对厌氧发酵总产气量进行预测,并且预测值可信。但影

响厌氧发酵试验的因素很多,也会造成模型的拟和程度相对于一般微生物发酵及其他生化反应模型的拟合程度低。

表4 二次回归模型及方差分析表

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) for response surface quadratic model

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	4.19×10^7	9	4.66×10^6	6.2461	0.0123	*
X_1	1.57×10^7	1	1.57×10^7	21.0070	0.0025	**
X_2	2.22×10^5	1	2.22×10^5	0.2978	0.6023	
X_3	9.65×10^5	1	9.65×10^5	1.2930	0.2930	
X_1X_2	3.34×10^6	1	3.34×10^6	4.4780	0.0721	
X_1X_3	2.52×10^6	1	2.52×10^6	3.3810	0.1085	
X_2X_3	1.19×10^6	1	1.19×10^6	1.5910	0.2477	
X_1^2	1.35×10^7	1	1.35×10^7	18.0780	0.0038	**
X_2^2	1.56×10^6	1	1.56×10^6	2.0930	0.1912	
X_3^2	1.66×10^6	1	1.66×10^6	2.2240	0.1795	
残差	5.22×10^6	7	7.46×10^5			
失拟	3.07×10^6	3	1.02×10^6	1.905	0.2702	
纯误差	2.15×10^6	4	5.38×10^5			

2.2 稻草秸秆 NaOH 与 H_2O_2 综合预处理的响应面优化分析

图 2~图 4 是根据模型拟合,由 Design Expert V.8.0.5 软件绘出的响应面分析图。由图 2~图 4 可知,在试验设定的自变量范围内,试验因子 NaOH 浓度 (X_1)、 H_2O_2 浓度 (X_2)、预处理时间 (X_3) 存在极值点,说明自变量 X_1 、 X_2 、 X_3 范围设置比较恰当,拟合曲面的最大值是真实存在的。

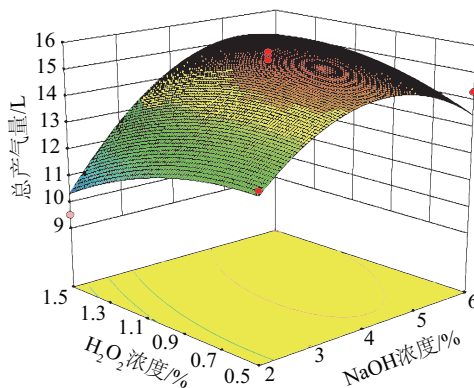


图2 H_2O_2 浓度与 NaOH 浓度响应面图

Fig. 2 Response surface graph of H_2O_2 and NaOH concentration

由图 2 可知,在处理时间为 24 h 条件下,当 H_2O_2

浓度不变时,随着 NaOH 浓度的增大,发酵总产气量先增后减,最大值出现在 NaOH 浓度值 4%~5% 处。当 NaOH 浓度不变时,随着 H_2O_2 浓度的增大,发酵总产气量开始略有增加后逐渐减小,减小的拐点出现在 H_2O_2 浓度为 1.00% 处。由初步回归方程和响应面分析可看出,NaOH 浓度对发酵总产气量成二次曲线关系。当 NaOH 浓度为 4%~5%, H_2O_2 浓度为 0.75%~1.00% 时,发酵总产气量最大,此外 NaOH 浓度为 4%~5% 时, H_2O_2 浓度变化对总产气量影响不明显。

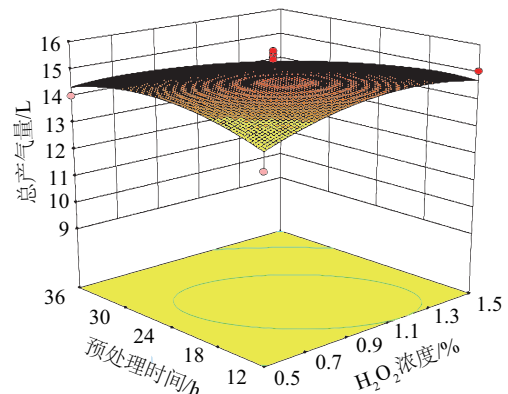


图3 预处理时间与 H_2O_2 浓度响应面图

Fig. 3 Response surface graph of pretreatment time and H_2O_2 concentration

通过二次回归方程,由图 3 可知,在 NaOH 浓度为 4% 条件下,当处理时间不变时,随着 H_2O_2 浓度的增大,发酵总产气量先升后降,在 H_2O_2 浓度较低时,发酵总产气量增大的速度较快。当 H_2O_2 浓度不变时,随着处理时间的增加,发酵总产气量先增后减。从图 3 可看出, H_2O_2 浓度为 0.75%~1.00%,处理时间在 24~30 h 条件下,发酵产气量最大。从等高线看出,在 H_2O_2 浓度为 0.75%~1.00%,处理时间在 24~30 h 范围内,低 H_2O_2 浓度与高处理时间组合或者高 H_2O_2 浓度与低处理时间组合较为合理。

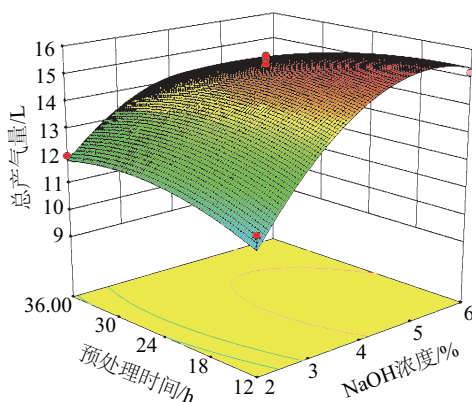


图 4 预处理时间和 NaOH 浓度响应面图

Fig. 4 Response surface graph of pretreatment time and NaOH concentration

由图 4 可知,在 H_2O_2 浓度为 1.00% 条件下,当预处理时间不变的情况下,随着 NaOH 浓度的增大,发酵总产气量先急剧增大后减小。NaOH 浓度从 2% 增大到 4% 时,发酵总产气量急剧增加;NaOH 浓度从 4% 增大到 5% 时,发酵总产气量增幅减小。当 NaOH 浓度不变时,随着处理时间的增加,发酵总产气量先增后减,但变化幅度较小。综合可看出,NaOH 浓度对发酵总产气量影响较大,这与表 4 中的方差分析结果一致。经 Design Expert.V.8.0.5 软件分析,并考虑到经济性,即以尽可能小的预处理试剂用量,获得尽可能大的总产气量,可得模型中最佳预处理工艺参数为:NaOH 浓度 5.71%, H_2O_2 浓度 1.48%,处理时间 12 h,总产气量(Y)最大值的预测值 16061 mL。

2.3 验证试验

为验证模型(2)的有效性和由最优化选择分析获得的优化因子组合的真实性,采用最优组合条件 NaOH 浓度为 5.71%, H_2O_2 浓度为 1.48%,处理时间为 12 h,在常温条件下进行化学预处理,处理后进行厌氧发酵,发酵

条件为:温度 37 ℃,接种物占比 30%,发酵液总固体含量(TS)6%,振荡速度 100 r/min。试验共设 3 个平行,发酵进行 25 d。测得 3 组平行试验平均总产气量为 15866 mL,与模型的预测值 16061 mL 较为接近,其相对误差为 1.21%,相对误差小于 5%,由此验证模型有效,验证试验中最高甲烷含量达 61.2%。

3 结 论

1)用 BOX-Behnken Design(BBD)分析得到预测稻草秸秆 NaOH 与 H_2O_2 综合预处理后厌氧发酵总产气量的二次回归方程,模型的相关系数为 0.889,可用于预测和优化 NaOH 与 H_2O_2 综合预处理稻草秸秆的条件。

2)3 个因变量中对稻草秸秆 NaOH 与 H_2O_2 综合预处理效果影响显著($P < 0.05$)的因子是预处理时 NaOH 浓度。响应面优化预处理条件为:NaOH 浓度 5.71%, H_2O_2 浓度 1.48%,处理时间 12 h,总产气量(Y)最大值的预测值 16061 mL。验证试验测得总产气量为 15866 mL,与模型预测的 16061 mL 较为接近,相对误差为 1.21%,小于 5%,验证了模型的有效性,且最高甲烷含量为 61.2%。

[参考文献]

- [1] 吴佳军,张少鹏,韩瑞萍,等.江苏省沼气工程调研及工艺分析[J].中国沼气,2017,35(2):104-109.
WU J J, ZHANG S P, HAN R P, et al. A survey on biogas project in Jiangsu and the technology analysis [J]. China biogas, 2017, 35(2): 104-109.
- [2] 吴楠,孔垂雪,刘景涛,等.农作物秸秆产沼气技术研究进展[J].中国沼气,2012,30(4):14-20.
WU N, KONG C X, LIU J T, et al. Research progress on crop straw biogas technology[J]. China biogas, 2012, 30(4): 14-20.
- [3] 朱开伟,刘贞,贺良萍,等.中国主要农作物秸秆可新型能源化生态经济总量分析[J].中国农业科学,2016,49(19):3769-3785.
ZHU K W, LIU Z, HE L P, et al. Eco-economic potential analysis of chinese main crops' bio-energy utilization straw resources[J]. Scientia agricultura sinica, 2016, 49(19): 3769-3785.
- [4] 张崇尚,刘乐,陆岐楠,等.中国秸秆能源化利用潜力与秸秆能源企业区域布局研究[J].资源科学,2017,39(3):473-481.

- ZHANG C S, LIU L, LU Q N, et al. Potential and regional distribution for the energy utilization of crop residues in China[J]. Resources science, 2017, 39(3): 473-481.
- [5] 彭春艳, 罗怀良, 孔静. 中国作物秸秆资源量估算与利用状况研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(3): 14-20.
- PENG C Y, LUO H L, KONG J. Advance in estimation and utilization of crop residues resources in China[J]. Chinese journal of agricultural resources and regional planning, 2014, 35(3): 14-20.
- [6] 李飞跃, 汪建飞. 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 1-7.
- LI F Y, WANG J F. Estimation of carbon emission from burning and carbon sequestration from biochar producing using crop straw in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(14): 1-7.
- [7] 李佩胜, 王宏志. 关于科学发展秸秆沼气项目的探讨[J]. 节能, 2008, 27(7): 9-10.
- LI P S, WANG H Z. Discussion on scientific development of straw biogas project[J]. Energy saving, 2008, 27(7): 9-10.
- [8] 边炳鑫, 赵有才. 农业固体废物的处理与综合利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 239-290.
- BIAN B X, ZHAO Y C. Treatment and comprehensive utilization of agricultural solid waste[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 239-290.
- [9] LI K, LIU R H, SUN C. A review of methane production from agricultural residues in China[J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2016, 54: 857-865.
- [10] 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(1): 59-63.
- QIN G D, LIU R H, SUN C. Effects of different concentrations of NaOH pretreatment on anaerobic digestion of rice straw for biogas production[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(1): 59-63.
- [11] CESARO A, BELGIORNO V. Cheminform abstract: pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions[J]. Chemical engineering journal, 2014, 240(15): 24-37.
- [12] 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 J H, QI F, CHEN J, et al. Influence of different digested sludge on biohydrogen production from wheat straw by fermentation[J]. Journal of Zhejiang University (engineering science), 2007, 41(5): 761-764, 822.
- [13] 李淑兰, 梅自力, 张国治, 等. 秸秆厌氧消化预处理技术综述[J]. 中国沼气, 2011, 29(5): 29-33.
- LI S L, MEI Z L, ZHANG G Z, et al. Review of pretreatment technology for crop straw anaerobic digestion[J]. China biogas, 2011, 29(5): 29-33.
- [14] LI H, ZOU S X, LI C C, et al. Alkaline post-treatment for improved sludge anaerobic digestion[J]. Bioresource technology, 2013, 140(3): 187.
- [15] SONG Z L, YAG G H, FENG Y Z, et al. Pretreatment of rice straw by hydrogen peroxide for enhanced methane yield[J]. Journal of integrative agriculture, 2013, 12(7): 1258-1266.
- [16] MEI X Y, LIU R H, SHEN F, et al. Optimization of fermentation conditions for the production of ethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast using response surface methodology[J]. Energy & fuels, 2009, 23(1): 487-491.
- [17] 李莉, 张赛, 何强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 20(8): 41-45.
- LI L, ZHANG S, HE Q, et al. Application of response surface methodology in experiment design and optimization[J]. Research and exploration in laboratory, 2015, 20(8): 41-45.

EFFECT OF NaOH AND H₂O₂ INTEGRATED PRETREATMENT OF RICE STRAW ON ITS ANAEROBIC FERMENTATION

Ma Ruijie, Qin Guodong, Li Kun, Cui Shaofeng, Wu Lijuan, Liu Ronghou

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

Abstract: In order to realize the efficient utilization of crop stalks in biogas projects and to solve the problem of the biogas projects over-reliance on livestock and poultry breeding plants. Rice straw being used as anaerobic fermentation feedstock was pretreated by NaOH and H₂O₂, and the biogas anaerobic fermentation experiments with an anaerobic fermentation facility made in our laboratory were carried out. In this study, effects of different concentrations of NaOH, H₂O₂ and pretreatment time on biogas fermentation of rice straw are analyzed. Response surface method is used to optimize the pretreatment process conditions. And the optimum pretreatment conditions are as follows: NaOH concentration is 5.71%; H₂O₂ concentration is 1.48%; pretreatment time is 12 h. In the validation experiment, methane content reaches to 61.2%. Biogas yield is 15866 mL in which the relative error with the predicted value of 16061 mL is 1.21%, which is less than 5%. The results of the validation test indicate that the model is valid. The pretreatment conditions in this work can provide a scientific reference for rice straw anaerobic digestion technology.

Keywords: straw; response surface experiments; anaerobic fermentation; biogas; pretreatment