

双螺杆物化组合预处理对秸秆产沼气的影 响

崔启佳, 朱洪光^{*}, 王旦一, 熊飞龙

(同济大学现代农业科学与工程研究院生物质能源研究中心, 上海 200092)

摘 要: 为解决沼气工程实践中秸秆预处理的问题, 该研究提出一种双螺杆物化组合处理途径用于秸秆的预处理。以稻草为原料, 设计 4 组试验: 双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组, 每组投料量均为干质量 20 g。试验结果是: 1) 各组累积产气量依次为 2 275.5、1 750、2 025.5 和 1 868.5 mL; 2) 单位原料产气量方差分析结果 ($P < 0.05$), 化学作用 $P = 0.0158$, 物理作用 $P = 0.4828$, 物化交互作用 $P = 0.0422$, 表明物化组合预处理效果显著; 3) 双螺杆疏解原料的长度在 5~10 mm, 宽度在 0.1~0.2 mm。研究表明: 双螺杆物化组合预处理是秸秆沼气原料预处理有潜力的处理手段。此外, 原料形态的改变符合工程中全混式沼气池对进出料的要求, 也改善了发酵池内搅拌时的流态条件。

关键词: 秸秆, 挤压机, 螺杆, 沼气, 物化组合预处理

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.045

中图分类号: S216.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0280-06

崔启佳, 朱洪光, 王旦一, 等. 双螺杆物化组合预处理对秸秆产沼气的影 响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 280-285.
Cui Qijia, Zhu Hongguang, Wang Danyi, et al. Effect on biogas yield of straw with twin-screw extruder physical-chemical combination pretreatment [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 280-285. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

沼气工程因其在能源、环境、卫生和经济等方面的优势, 成为了现代生态建设的重要技术支撑之一^[1]。近年来, 秸秆作为沼气工程的发酵原料, 已经成为研究热点^[2-4]。农作物秸秆资源丰富, 我国每年产量约 7 亿 t, 为其用于沼气发酵提供了良好的物质基础。但实践中发现, 秸秆中纤维素、半纤维素和木质素形成的木质纤维素结构阻碍了厌氧菌对纤维素的利用, 致使秸秆的产气率比较低^[5-6], 制约了以秸秆为原料的沼气工程的发展。研究表明, 通过对秸秆进行适当的预处理、改善秸秆的质地, 可以提高秸秆的转化效率^[7]。目前开展的秸秆预处理有: 物理途径, 例如汽爆处理^[8-9]; 化学途径, 如酸碱处理^[10-11]; 以及生物途径, 如普通堆肥, 白腐菌处理^[12-13]等, 在提高产气率和缩短反应时间上均取得了明显的效果。但是, 以上预处理手段实践证明具有成本高、能耗高、劳动强度大的问题, 目前的产业化并不理想。因此, 寻求经济、高效、便捷的秸秆预处理途径, 已经成为秸秆产沼气的核心难题。

秸秆预处理产沼气, 在目标上与造纸制浆有很多相

似之处, 或许能够从制浆造纸工业中得到借鉴。上世纪 70 年代, 法国、瑞典等国研究机构把源于塑料和食品工业的混配和挤出成型的双螺杆疏解系统应用于制浆造纸行业中的初级磨浆^[14], 对木质纤维原料的初级碎化非常有效。经过实际考察, 与其他预处理相比, 双螺杆疏解系统能够将物理挤压、揉搓疏解和反应温度提升等过程有机地结合起来, 实现了物化处理条件的优化。以上优势非常符合秸秆原料生物质能源转化的预处理要求。此外, 该系统可以实现对秸秆预处理的连续操作, 具有生产效率高和劳动强度小的特点, 易于产业化生产。近年来, 已有报道将双螺杆疏解系统应用于生物质能源转化产乙醇的试验^[15], 但将其应用于秸秆预处理厌氧发酵产沼气方面却未见报道。本研究以双螺杆疏解系统为载体, 结合化学药剂对稻草进行预处理, 研究双螺杆物化组合预处理对秸秆产沼气的影 响, 进而探索双螺杆物化组合预处理用于秸秆沼气工程的可行性。

1 材料与方 法

1.1 双螺杆疏解系统结构及工作原理

双螺杆疏解系统的工作原理^[16-17]: 双螺杆疏解系统的主要结构是 2 根平行、同向旋转、相互啮合的装有正螺旋和反螺旋组合形成的螺旋辊 (见图 1), 正螺旋为连续螺旋促进原料输送, 反螺旋为缺口螺旋促进原料回流, 原料通过反螺旋的缺口挤出, 实现预处理原料的外泄, 最后双螺杆疏解预处理原料由排料口出料。

本试验中采用的双螺杆疏解系统采用江苏金沃机械有限公司生产的 JXM120 型装置, 螺杆直径为 120 mm, 螺杆转速为 360 r/min。

收稿日期: 2010-05-27

修订日期: 2011-01-07

基金项目: 上海市委项目重点支撑项目 (07DZ12050); 新奥-同济生态园专项基金。

作者简介: 崔启佳 (1984-), 男, 辽宁鞍山人, 主要从事农业固体废弃物生物质能源转化研究。上海 同济大学现代农业科学与工程研究院生物质能源研究中心, 200092。Email: cuiqijia@gmail.com

*通信作者: 朱洪光 (1974-), 男, 安徽阜南人, 博士, 同济大学现代农业科学与工程研究院生物质能源研究中心主任, 从事以沼气为中心的生物质能源工程研究。上海 同济大学现代农业科学与工程研究院生物质能源研究中心, 200092。Email: zhuhg@tongji.edu.cn

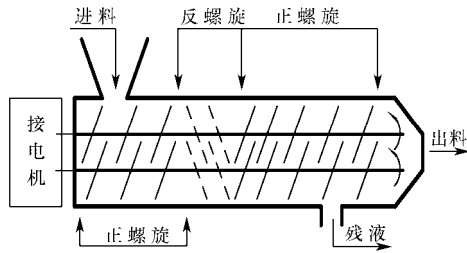


图 1 双螺杆疏解系统结构示意图

Fig.1 Structure schematic for twin-screw extruder system

1.2 试验材料和接种物

本研究以稻草为试验材料。试验用稻草取自南京市郊稻田，试样采集后自然条件下风干。试验中接种物取自上海市浦东新区某沼气工程全混式厌氧反应器的厌氧污泥，过 20 目筛滤去沙石等杂质，常温下密封静置 15 d 后备用。

表 1 发酵原料和污泥的成分指标

Table 1 Main composition of straw and sludge

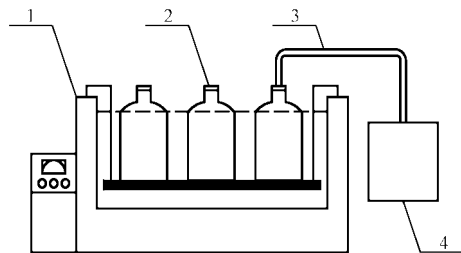
	总固体质量 分数/%	挥发性固体质量 分数/%
双螺杆物化组合预处理	31.62	28.46
单纯双螺杆物理预处理	39.12	34.58
未预处理/单纯化学预处理	83.36	77.69
污泥	15.96	5.62

注：总固体质量分数、挥发性固体质量分数均以原料湿质量计

1.3 试验装置和分组设计

1.3.1 试验装置

试验装置由恒温装置、发酵装置、连接管道和气袋组成（见图 2）。恒温装置采用常州国华电器有限公司的 SHA-B 型水浴恒温振荡器。发酵装置为 500 mL 血清瓶。试验产生的气体由气袋进行收集，用注射器抽取气袋收集的气体进行计量。



1. 恒温装置 2. 发酵装置 3. 连接管道 4. 气袋

图 2 厌氧发酵试验系统

Fig.2 Experimental set-up for batch anaerobic digestion system

1.3.2 分组设计

研究从双因素可重复试验理论出发（见表 2），按 4 组处理设计试验，分别为：双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组，试验同时设置一个空白参比组。每组设置 2 个平行试验。

表 2 双因素可重复试验设计表

Table 2 Two-factor repeated experiment design

双因素可重复试验设计		
0		
螺杆疏解		
0	未预处理组	单纯双螺杆物理预处理组
Ca(OH) ₂ 浸渍	单纯化学预处理组	双螺杆物化组合预处理组

注：每组设 2 个重复

双螺杆物化组合预处理组：用铡刀把稻草切成 20~30 mm 左右长段，用稻草干质量 6% 的 Ca(OH)₂、稻草干质量 200% 的水混合成石灰乳，进一步与切好稻草进行混匀并浸渍 3 h，然后通过双螺杆疏解系统进行预处理，之后投料发酵。

单纯双螺杆物理预处理组：用铡刀把稻草切成 20~30 mm 左右长段，不投加 Ca(OH)₂，直接用水将稻草浸渍 3 h，通过双螺杆疏解系统进行预处理，然后投料发酵。

单纯化学预处理组：用铡刀把稻草切成 20~30 mm 左右长段，用稻草干质量 6% 的 Ca(OH)₂、稻草干质量 200% 的水混合成石灰乳浸渍 3h，不经过双螺杆疏解系统，直接投料发酵。

未预处理组：仅用铡刀把稻草切成 20~30 mm 左右长段，然后不进行其他任何预处理，直接投料发酵。

空白参比组：是用于消除接种污泥内源产气误差，仅添加接种污泥，不添加任何发酵原料。

双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组均按照 40 g/L 干物质质量负荷率，即每组按 20 g 干物质质量来投加发酵原料，同时投加相等干物质质量的厌氧污泥作为接种物。空白参比组仅投加 20 g 干物质质量的接种物。投料接种后，将发酵反应器置于恒温水浴振荡器内，使发酵环境温度维持在 (35±2) °C，进行中温发酵；通过时控开关控制振荡和静置的时段，每天振荡 8 次，每次 15 min。

1.4 指标测试和分析

1.4.1 指标测试

1) 试验前后，测定发酵原料、残余物和接种污泥的总固体 (total solid, TS) 质量分数和挥发性固体 (volatile solid, VS) 质量分数^[18]，以及发酵液的 pH 值和 COD 指标^[19]，用以进行原料平衡分析。

2) 对双螺杆疏解预处理的原料进行纤维的长度和宽度的统计测定，以说明双螺杆疏解预处理对原料形态的影响。

3) 试验过程中，每天记录各组试验装置的产气量，用以评价预处理对产气效果的影响。由于空白参比组的每日产气量较少，很难每日测定，故累积到试验结束后进行总产气量测定。

1.4.2 总固体去除率和挥发性固体去除率

试验结束后，综合试验数据进行计算，包括总固体去除率、挥发性固体去除率。其中，

$$R_{TS} = \frac{\sum W_{\phi} \cdot TS_{\phi} - \sum W_{\theta} \cdot TS_{\theta}}{\sum W_{\phi} \cdot TS_{\phi}} \quad (1)$$

$$R_{VS} = \frac{\sum W_{\phi} \cdot VS_{\phi} - \sum W_{\theta} \cdot VS_{\theta}}{\sum W_{\phi} \cdot VS_{\phi}} \quad (2)$$

式中, R_{TS} 为总固体去除率, %; R_{VS} 为挥发性固体去除率, %; W_{θ} 为发酵后物料质量, g; W_{ϕ} 为发酵前物料质量, g; TS_{ϕ} 为发酵前物料总固体质量分数, %; VS_{ϕ} 为发酵前物料挥发性固体质量分数, %; TS_{θ} 为发酵后物料总固体质量分数, %; VS_{θ} 为发酵前物料挥发性固体质量分数, %; 发酵物料, 包含发酵原料和接种污泥。

1.4.3 单位原料产气量和方差分析

把各组总累积产气量扣除空白参比的污泥产气量, 可以计算各组原料实际的产气量, 并进一步计算每组的单位原料产气量。具体计算见公式 (3) :

$$p_m = \frac{V_m - V_b}{W_m \cdot TS_m} \quad (3)$$

式中, p_m 为单位原料产气量, mL/g; V_m 为原料累积产气量, mL; V_b 为空白累积产气量, mL; W_m 为发酵原料质量, g; TS_m 为发酵原料总固体质量分数, %。

依据表 2 的双因素可重复试验设计, 对各试验组的单位原料产气量进行方差分析, 可以区分不同预处理对原料产气潜力的实际作用效果, 取 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 产气量

2.1.1 日产气量

双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组试验的日产气量随时间变化见图 3。从图中可以看出, 双螺杆物化组合预处理组产气量在第 3~5 天有一个迅速上升的趋势, 在第 5 天达到本次试验的日产气量的峰值 194.5 mL; 第 6 天迅速下降, 但第 6~12 天产气量较为平稳; 第 13 天开始逐渐上升, 在 16 d 到达次日产气量高峰 163.5 mL, 之后缓慢下降, 直至 21 d 本次试验结束。单纯双螺杆物理预处理组产气量 1~2 d 较高, 随后逐渐走低至第 8 天开始反弹, 在第 11 天达到试验中期最高峰 128.5 mL, 随后回落至试验结束。单纯化学预处理组产气量在 1~7 d 的稳定在 100 mL 以上, 随后稍有回落, 至第 11 天后开始上升并于 15 d 达到产气高峰 142.5 mL。未预处理组的在前 5 d 产气量比较平稳, 日产气量在 100 mL 以上。之后的产气量有一定的波动, 但除了第 17、18 天外, 其余时间内的产气量均在 100 mL 以下。

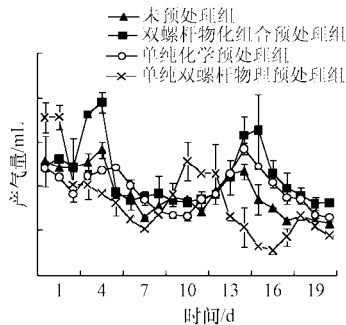


图 3 日产气量变化曲线

Fig.3 Temporal changes of daily biogas yield

2.1.2 日累积产气量

试验结束后, 空白参比组的总产气量为 65.4 mL, 说明接种物对各组试验的产气量影响不大。对双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组 4 组试验的每日产气量进行累加, 得出图 4 日累积产气量随时间变化曲线。从图 4 中可以看出, 在 14 d 之前, 单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的日累积产气量相差不多, 但是 TPCPG 的数量总大于其他各组。从第 14 天开始, 各组的日累积产气量的差异逐渐扩大, 双螺杆物化组合预处理组逐渐与其他各组拉开距离。试验结束后, 双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的总累积产气量分别为 2 275.5、1 750、2 025.5 和 1 868.5 mL, 单纯双螺杆物理预处理组产气量最低。相比于单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的总累积产气量, 双螺杆物化组合预处理组的总累积产气量分别提高了 33.74%、12.34% 和 21.78%。双螺杆物化组合预处理组第 16 天达的累积产气量已经到了单纯双螺杆物理预处理组的总累积产气量水平。

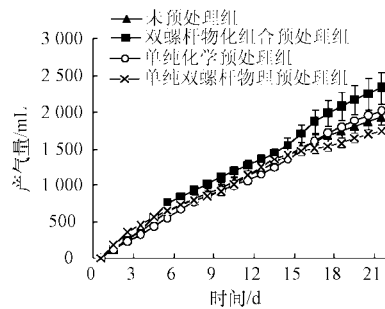
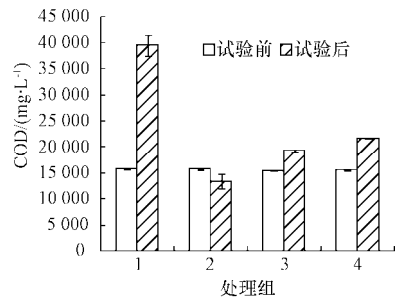


图 4 累积产气量变化曲线

Fig.4 Temporal changes of cumulative biogas yield

2.2 试验前后发酵液 COD 和 pH 值变化

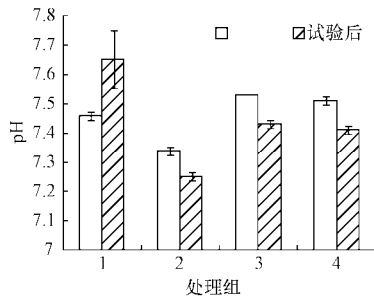
图 5 和图 6 为发酵试验前后 COD 和 pH 值的变化情况。图中显示, 试验前后双螺杆物化组合预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组浸出的 COD 均有明显的增加, 单纯双螺杆物理预处理组浸出的 COD 有一定的下降。试验前后 pH 值比较, 发现单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的有所下降, 分别由 7.34、7.65 和 7.51 下降到 7.25、7.46 和 7.41, 而双螺杆物化组合预处理组的则比开始有所提高, 由 7.46 上升到 7.65。



注: 1. 双螺杆物化组合预处理组 2. 单纯双螺杆物理预处理组 3. 单纯化学预处理组 4. 未预处理组

图 5 发酵试验前后 COD 的变化

Fig.5 Changes of COD before and after digestion experiment



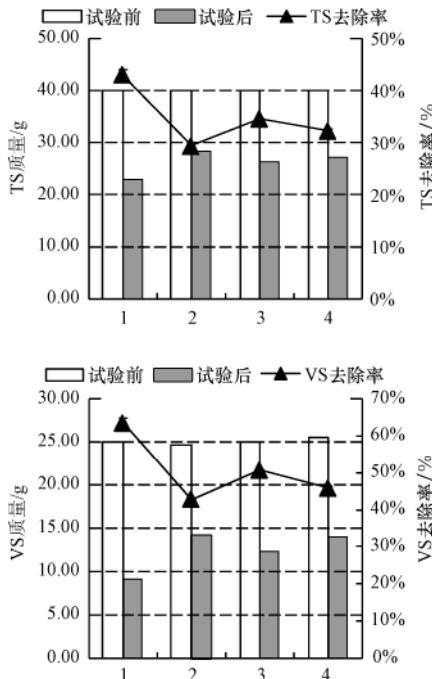
注：1. 双螺杆物化组合预处理组 2. 单纯双螺杆物理预处理组 3. 单纯化学预处理组 4. 未预处理组

图 6 发酵试验前后 pH 的变化

Fig.6 Changes of pH before and after digestion experiment

2.3 总固体去除率和挥发性固体去除率

根据公式 (1) 和 (2) 可换算出四组试验的总固体 (TS) 去除率、挥发性固体 (VS) 去除率计算结果见图 7。如图所示，相比于单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组，双螺杆物化组合预处理组的 TS 去除率分别提高了 46.13%、24.19% 和 33.04%；VS 去除率分别提高了 42.56%、25.52% 和 38.93%。



注：1. 双螺杆物化组合预处理组 2. 单纯双螺杆物理预处理组 3. 单纯化学预处理组 4. 未预处理组

图 7 总固体 (TS) 和挥发性固体 (VS) 去除率

Fig.7 Removal rate of total solid and volatile solid

2.4 单位原料产气量和方差分析

依据公式 (3) 可换算出各组的单位原料产气量。双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的平均单位原料产气量分别为 113.76、84.23、98.01 和 93.43 mL/g。对各试验组的单位原料产气量进行方差计算，结果见表 3，化学预处理作用的 $P=0.0158 < 0.05$ ，物理预处理作用的 $P=0.4828 > 0.05$ 。这说明化学预处理作用对产气量的影响显著，而单

纯双螺杆物理预处理作用对产气量的影响不显著。此外，物理化学组合预处理的交互作用 $P=0.0422 < 0.05$ ，说明双螺杆物化组合预处理对产气量的影响优于单纯化学预处理和单纯双螺杆物理预处理的简单累加，具有相互促进作用。

表 3 物化作用的方差分析结果

Table 3 Analysis results of variance

差异源	方差	自由度	均方差	F	P 值	F crit
化学	581.40	1	581.405	16.188	0.0158	7.708
物理	21.45	1	21.451	0.597	0.4828	7.708
交互	311.25	1	311.25	8.666	0.0422	7.708
内部	143.66	4	35.915			
总计	1057.77	7				

2.5 双螺杆疏解预处理的发酵原料物理形态

双螺杆疏解预处理仅涉及双螺杆物化组合预处理组和单纯双螺杆物理预处理组 2 组，随机抽取预处理后双螺杆物化组合预处理组和单纯双螺杆物理预处理组发酵原料各 50 个料块，进行长度和宽度测量，结果见图 8。从图中可以看出，双螺杆物化组合预处理组原料长度主要集中在 5~10 mm，宽度主要集中在 0.1~0.2 mm。单纯双螺杆物理预处理组原料长度主要集中在 5~15 mm，宽度主要集中在 0.1~0.4 mm。相比单纯双螺杆物理预处理，双螺杆物化组合预处理更有利于原料形态的破碎。

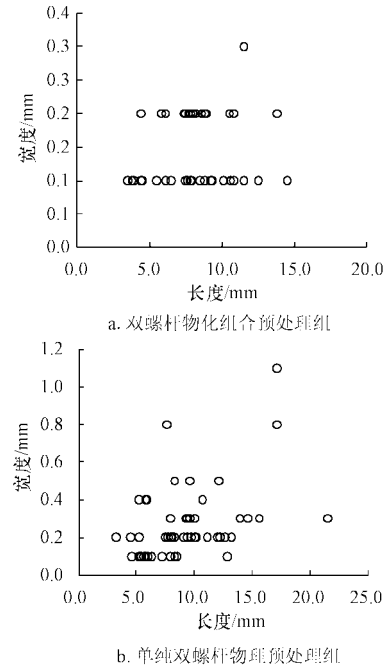


图 8 双螺杆物化组合预处理组和单纯双螺杆物理预处理组的原料长度和宽度

Fig.8 Material length and width for twin-screw physical-chemical combination pretreatment group and unique twin-screw physical pretreatment group

3 讨论

3.1 双螺杆物化组合预处理的可行性分析

试验结果表明，经过双螺杆物化组合预处理的原料，与单纯双螺杆物理预处理的原料、单纯化学预处理的原

料和未预处理的原料相比,在日累积产气量方面提高了33.74%、12.34%和21.78%;TS去除率分别提高了46.13%、24.19%和33.04%;VS去除率分别提高了42.56%、25.52%和38.93%,这些指标表明了双螺杆物化组合预处理原料在厌氧发酵产气方面有显著的优势。从预处理方式对单位原料产气量影响分析中发现,双螺杆物化组合预处理中物化处理的交互作用对原料产气量影响显著。这可能是因为秸秆原料在双螺杆疏解系统的正螺旋和反螺旋结合部受到挤压、搓磨和剪切,这个过程中产生大量的热量,促进热化学反应的进行^[14,17];正反螺旋的输送和回流交互作用也促进了药剂与秸秆原料的参混和药剂与原料的接触吸收,使原料的疏解和化学药剂有机地结合起来。此外,在出口处由于压力突然释放,原料瞬间膨化进一步破坏了原料结构,增大了秸秆的表面积^[15],这有利于发酵过程中微生物接触和利用原料,加快了产气的进行。综上分析,说明了双螺杆物化组合预处理具有一定的可行性。

3.2 双螺杆疏解预处理改变原料形态的意义

双螺杆疏解预处理的原料形态上呈蓬松状且分离效果明显,和未预处理原料相比原料的表面积大,更易于在厌氧发酵中为微生物所利用。对原料的长度和宽度进行测量,结果表明双螺杆物化组合预处理组的形态及均一度方面要好于单纯双螺杆物理预处理组的,长度和宽度更为集中,也说明了药剂的添加有助于疏解原料形态的均一化。



a. 双螺杆物化预处理组 b. 单纯双螺杆物理预处理组

图9 振荡结束后发酵装置内的情况

Fig.9 The status of the set-up after vibration

双螺杆疏解预处理对原料形态的改变不仅有助于产气效率的提升,更重要的可能对工程实践也具有重要意义。工程实践表明,全混式沼气池对秸秆长度的控制比较严格,长度控制在10 mm左右,利于原料的混匀和输送^[20]。而目前的各种秸秆预处理系统,很难解决秸秆破碎均一化问题,已经严重制约了秸秆沼气工程的发展。本研究中的双螺杆疏解预处理的原料长度集中在5~10 mm且均一度高,符合工程中全混式沼气池对原料进出料的要求。试验中发现,振荡中的原料易于在水力条件改变情况下打破因质轻上浮形成的浮渣层,与发酵装置中的溶液充分混合(见图9),说明了双螺杆疏解预处理的原料改善了发酵池内搅拌时的流态条件,适于厌氧发酵的进行。

3.3 关于双螺杆疏解预处理对原料产气量误差的讨论

双螺杆物化组合预处理组和单纯双螺杆物理预处理

组由于系统每次原料较多,而小试仅用少量原料,存在取样的代表性问题。本研究是在双螺杆疏解预处理完成后,取疏解过程中期设备相对稳定、疏解质地相对均匀的原料作为预处理组试验发酵原料。由于疏解过程中系统排出的液体无法回收被遗弃,可能会造成试验的误差,但是小试难以避免。试验结果表明,单纯双螺杆物理预处理组的原料产气量最低,甚至低于未预处理组的稻草。这可能是由于双螺杆疏解预处理过程中排出的残液中含有对发酵有利的可溶性物质,造成了产气量的偏低,这有待进一步放大工程研究。

双螺杆物化组合预处理组是该试验产气量最高的组,但是单位原料产气量也不算高,仅113.76 mL/g。这与试验中测定的TS去除率和VS去除率不太相符。这一方面可能是试验规模小,发酵环境自身限制溶出有机质部分充分转化为沼气;这与试验结束后,发酵液COD的测量结果比较符合。发酵结束后双螺杆物化组合预处理组、单纯双螺杆物理预处理组、单纯化学预处理组和未预处理组的COD分别为39 522、13 386、19 312和21 726 mg/L。但是从日产气量上看,试验已经接近产气结束。究竟是何种机制的作用制约了溶出有机质的进一步转化为沼气,尚需进一步的研究。

4 结论

双螺杆物化组合预处理对秸秆产沼气效率有显著提高,对秸秆原料的进出料特性有很好的改善,是秸秆沼气原料预处理有潜力的手段。但是,由于试验规模过小,很多因素也造成试验误差,工程应用仍需进一步的放大研究和技术经济评价。

[参考文献]

- [1] 朱洪光. 中国沼气产业发展展望——同济大学生物质能源中心主任朱洪光博士专访[J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2007, 15(3): 8—12.
- [2] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(5): 201—204. (in Chinese with English abstract)
- [3] Isci A, Demirel G N. Biogas production potential from cotton wastes [J]. Renewable Energy, 2007, 32: 750—757.
- [4] Zhang Ruihong, Zhang Zhiqin. Biogasification of straw with an anaerobic-phased solids digester system[J]. Bioresource Technology, 1999, 68: 235—245.
- [5] Hendriks A T W M, Zeeman A. Pretreatment to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass [J]. Bioresource Technology, 2009, 100: 10—18.
- [6] Taherzadeh M J, Karimi K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review [J]. Int J Mol Sci, 2008, 9: 1621—1651.
- [7] 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)
- [8] Bauer A, Bösch P, Friedl A. Analysis of methane potentials of steam-exploded wheat straw and estimation of energy yields of combined ethanol and methane production [J]. Journal of Biotechnology, 2009, 142: 50—55.
- [9] 王许涛, 张百良, 宋安东, 等. 蒸汽爆破技术在秸秆厌氧发酵中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 189—192. Wang Xutao, Zhang Bailiang, Song Andong, et al. Application of steam-exploded technology to anaerobic digestion of corn stover[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 189—192. (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhao Rui, Zhang Zhenya, Zhang Ruiqin, et al. Methane production from rice straw pretreated by a mixture of acetic-propionic acid[J]. Bioresource Technology, 2010, 101: 990—994.
- [11] Yang Dongyan, Li Xiujin, Gao Zhijian, et al. Improving biogas production of corn stalk through chemical and biological pretreatment: a preliminary comparison study [J]. Transaction of the CSAE, 2003, 19(5): 209—213.
- [12] 杨玉楠, 陈亚松, 杨敏. 利用白腐菌生物预处理强化秸秆发酵产甲烷研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5): 1968—1972. Yang Yunan, Chen Yasong, Yang Min. Methane production from anaerobic fermentation of straw enhanced by biological pretreatment with white-rot fungi[J]. Journal of agro-environment science, 2007, 26(5): 1968—1972. (in Chinese with English abstract)
- [13] Ghosh A, Bhattacharyya B C. Biomethanation of white rotted and brown rotted rice straw[J]. Bioprocess Engineering, 1999, 20: 297—302.
- [14] 胡惠仁, 曹堪洲. 双螺杆挤压法 APMP 制浆新工艺[J]. 中国造纸, 2004, 23(11): 8—12. Hu Huiren, Cao Kanzhou. A novel pulping process—Twin screw extrusion APMP (TSE APMP) [J]. China pulp and paper, 2004, 23(11): 8—12. (in Chinese with English abstract)
- [15] 许洪朋, 谈国伟, 郭武辉, 等. 双螺杆挤压膨化预处理玉米秸秆的研究[Z]. 中国化工学会 2008 化工机械年会, 上海, 2008, 670—676.
- [16] Westebroek A P H. Extrusion Pulping of Natural Fibres [D]. Wageningen University, 2000.
- [17] 王平, 沈晓阳, 薛强. 双螺杆磨浆机的研究与应用[J]. 中国造纸, 2004, 23(1): 45—48. Wang Ping, Shen Xiaoyang, Xue Qiang. A review of bivirus extruder[J]. China Pulp and Paper, 2004, 23(1): 45—48. (in Chinese with English abstract)
- [18] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999, 536—538.
- [19] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002(104): 216—219.
- [20] 陈永生, 朱德文, 曲浩丽, 等. 大中型沼气工程原料预处理工艺及装备技术[J]. 中国农机化, 2010(6): 73—78. Chen Yongsheng, Zhu Dewen, Qu Haoli, et al. Materials pretreatment process and equipment technology of the large and medium-sized biogas projects[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(6): 73—78. (in Chinese with English abstract)

Effect on biogas yield of straw with twin-screw extruder physical-chemical combination pretreatment

Cui Qijia, Zhu Hongguang^{*}, Wang Danyi, Xiong Feilong

(Bio-energy Research Center, Modern Agricultural Science and Engineering Institute, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to solve the problem of straw pretreatment in biogas engineering, this study proposed a physical-chemical combination pretreatment of the straw based on twin-screw extruder for biogas production. Taking rice straw as the material, the experiments were divided into twin-screw physical-chemical combination pretreatment group, unique twin-screw physical pretreatment group, unique chemical pretreatment group and no pretreatment group, and the feeding amount above was 20 g by dry weight. The results of the experiments showed that: (1) the cumulative biogas yield of the four groups were 2 340.5, 1 750, 2 025.5 and 1 868.5 mL respectively; (2) the results of analysis of variance ($p < 0.05$) on the biogas yield per gram of total solid (TS) were that: for chemical method $p = 0.0158$, for physical method $p = 0.4828$, for physical-chemical interaction method $p = 0.0422$; this showed the physical-chemical combination pretreatment was significance to biogas yield; (3) after twin-screw pretreatment, the length of the material was 5-10 mm and the width was 1-2 mm. The results showed that the physical-chemical pretreatment with twin-screw extruder is one of the potential pretreatment, and the transformation in the form of the straw can meet the need of accessing and discharge for CSTR and change the flow field in the CSTR when stirring.

Key words: straw, extruder, screw, biogas, physical-chemical combination pretreatment