

王俊,李晖,曹逊,等微波辅助对秸秆厌氧发酵过程的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):251-253.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.084

# 微波辅助对秸秆厌氧发酵过程的影响

王俊<sup>1</sup>,李晖<sup>2</sup>,曹逊<sup>2</sup>,陈祎<sup>2</sup>,张艳<sup>2</sup>,韦萍<sup>2</sup>

(1.南京工业大学药学院,江苏南京 211816; 2.南京工业大学生物与制药工程学院,江苏南京 211816)

**摘要:**以秸秆为研究对象,通过研究产气量、发酵液 pH 值、挥发性有机酸浓度、秸秆降解率和纤维素、半纤维素的分解率等参数,比较了 37 ℃ 条件下不同微波处理时间(每天 10、20、30、40 s)对秸秆厌氧发酵效果的影响。结果表明:微波辅助厌氧发酵能够提高秸秆发酵累计产气量,其中每天处理 30 s 产气量从对照组的 5 765 mL 提高到 7 428 mL;发酵过程中发酵液 pH 值与发酵液中挥发性有机酸的含量呈正比;微波处理后秸秆失重率提高。说明秸秆厌氧发酵过程中每天微波处理 30 s,能够显著促进纤维素、半纤维素分解,提高产气量。

**关键词:**微波;秸秆;厌氧发酵;降解率

**中图分类号:** S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)01-0251-02

农作物秸秆的处理已经成为困扰我国主要农业产区的一个大问题,简单的焚烧模式不仅对大气环境造成了严重污染<sup>[1]</sup>,更是对储量巨大的生物质资源的浪费<sup>[1-3]</sup>。秸秆的厌氧消化是生物质资源开发的研究方向,其中沼气受到了更多的关注,通过各种方法如化学吸附、变压吸附等除去沼气中所含的 CO<sub>2</sub> 之后 CH<sub>4</sub> 纯度可以达到 97%<sup>[4-6]</sup>。秸秆的厌氧消化过程主要是利用厌氧微生物的消化作用将作物秸秆中的纤维素、半纤维素分解,生成甲烷,这个过程中纤维素、半纤维素的分解是影响产气量的重要因素。微波是电磁波的一种,其具有热效应和非热效应。热效应表现为能够使极性分子在电磁场中发生高频率的震动,发生碰撞、摩擦,使反应器内物质温度升高<sup>[7]</sup>。有研究结果表明,微波辐射能够使纤维素、半纤维素、总糖转化率分别提高了 30.6%、43.3%、30.3%<sup>[8]</sup>;在供氧体如甲酸等存在下,微波处理后木质素会发生较好的解聚<sup>[9]</sup>。微波辅助反应技术在生物质的预处理过程和酶促进糖化效果等方面都有大量报道,但在辅助发酵过程方面的研究未见文献报道。本试验试图通过微波辅助厌氧发酵,研究不同微波处理时间对秸秆厌氧消化产气效果及秸秆降解率的影响,希望找到一种促进秸秆厌氧发酵的辅助技术。

## 1 材料与与方法

### 1.1 发酵装置

本试验采用自制发酵装置(1 500 mL 发酵罐、5 000 mL 集气瓶、2 000 mL 集水瓶),用排水集气法收集产生的气体,试验装置用医用硅胶管连接,使用前严格检查气密性,确保气密性良好。

### 1.2 试验原料及接种物性质

本试验所用稻草秸秆采集自江苏省泗阳县卢集乡,自然风干后用粉碎机粉碎。接种液来自江苏省南京工业大学创新中心沼气示范工程发酵罐,沼液用纱布过滤除掉残渣,稀释 1 倍。发酵秸秆原料和接种液的性质见表 1。

表 1 试验原料秸秆及接种物性质

材料	总固体 (%)	挥发性固体 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	纤维素 (%)	半纤维素 (%)	C/N
秸秆	95.82	80.76	4.18	15.72	31.04	36.27	30
接种物	1.1	0.7	98.9	0.38	—	—	18

### 1.3 试验设计

每个实验装置体积为 1 500 mL,加入稀释 1 倍后的沼液 1 000 mL,加入 40 g 秸秆,用尿素调节 C/N 为 25 : 1<sup>[12]</sup>。将发酵装置置于 37 ℃ 恒温水浴槽中发酵。设定每 24 h 微波处理 1 次,微波功率 800 W,试验组分别处理 10、20、30、40 s,对照组不进行微波处理。每 24 h 测定 1 次产气量;每 72 h 采集发酵液,测定 pH 值和有机酸含量。发酵 20 d 结束试验。试验结束后测定发酵前秸秆和发酵后剩余固体物质成分。

### 1.4 测定方法

发酵罐的产气量由其排水量测定;发酵过程中沼液 pH 值由 pH 计测定;有机酸含量使用比色法<sup>[13]</sup>测定;总碳含量采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定;总氮含量由凯氏定氮仪测定<sup>[14]</sup>;总固体(TS)含量及挥发性固体(VS)含量采用沼气发酵常规分析方法<sup>[15]</sup>测定;纤维素、半纤维素的测定采用美国能源部可再生能源实验室(NREL)的方法<sup>[16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 微波处理对发酵过程中累积产气量的影响

由图 1 可以看出,累积产气率最高的为每天微波 30 s 处理,且产气速率也要明显高于其他处理,总产气量达到 7 428 mL,而对照总产气量为 5 765 mL,30 s 处理比对照提高了 28.85%,微波处理 10、20、40 s 3 个处理累积产气量分别为 6 059、7 094、6 777 mL,较对照分别提高了 5.10%、23.06%、17.56%。各处理所产气体中甲烷的比例为 46%~53%,每

收稿日期:2014-02-27

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAD15B02);国家“863”计划(编号:2012AA021405);江苏省科技支撑计划(编号:BE2010359)。

作者简介:王俊(1989—),男,安徽颍上人,硕士研究生,主要从事厌氧发酵分析相关工作。E-mail:wangjun.945@163.com。  
通信作者:李晖,博士,副教授。E-mail:leehvi@163.com。

天处理 30 s 甲烷的产量由对照的 2 859 mL 增加到 3 647 mL, 产率提高 27.55%。表明微波处理 30 s 对产气量的促进作用高于其他微波处理时间。

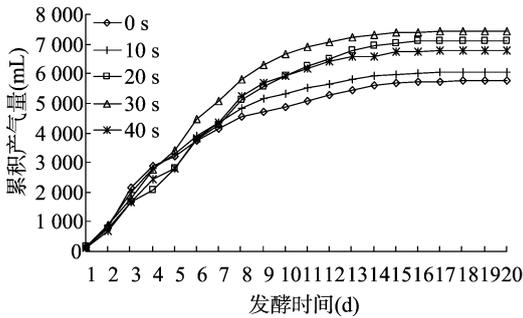


图1 不同微波处理时间累积产气量的变化

## 2.2 微波处理对发酵过程中 pH 值和有机酸含量的影响

pH 值是影响厌氧发酵过程中的一个重要因素,同时也与发酵体系中微生物活力、小分子物质如有机酸等含量有密切关系<sup>[17]</sup>。从图 2 的 pH 值变化趋势可以看出,发酵体系 pH 值呈现先降低再升高的趋势。发酵开始时 pH 值为 7.46 ~ 7.48,发酵体系呈现微碱性,对秸秆的厌氧发酵是有利的。随着秸秆的逐步降解,产酸菌的活性增强,使有机酸产生积累,3 d 时 pH 值降至 7.01 ~ 7.13。产氢产甲烷菌活性增强之后分解有机酸速度加快,有机酸含量逐步降低,使 6 d 之后体系中 pH 值上升,至发酵结束 pH 值在 7.30 附近。

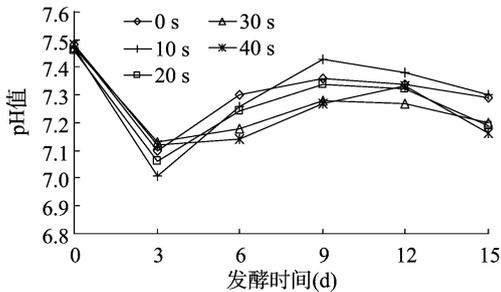


图2 不同微波处理对发酵液 pH 值的影响

有机酸是厌氧消化过程甲烷产生的原料之一,对厌氧消化过程有着重要影响。过高的有机酸含量会使 pH 值过低,抑制产甲烷菌的活性;过低的有机酸含量使产甲烷菌得不到足够的原料,也会导致产气量的降低。从图 3 可以看出,有机酸含量在 3 d 时达到最高值(1 440 ~ 1 566 mg/L),随着发酵进程,有机酸含量呈现先高后低的总体趋势,到 15 d 时降低到 511 ~ 523 mg/L,这与产气量的总体趋势相吻合,表明有机酸含量是影响产气量的重要因素。微波处理对试验前期有机酸含量的影响大于后期。

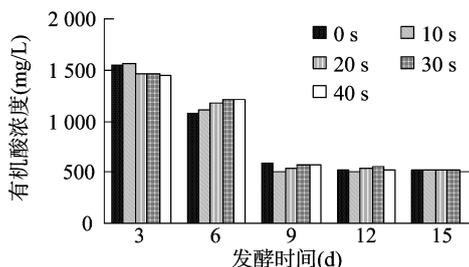


图3 不同微波时间条件下有机酸含量的变化

## 2.3 微波处理对发酵过程中秸秆降解的影响

2.3.1 对纤维素、半纤维素等降解率的影响 从秸秆中各组分在发酵后的降解率(表 2)可以看出,较短时间的微波处理促进了纤维素、半纤维素的降解。原因是微波处理能够促进纤维素晶体的解聚,进而增大纤维素等的微生物可及度。

表 2 不同微波处理对纤维素、半纤维素降解率的影响

微波处理时间 (s)	降解率(%)	
	纤维素	半纤维素
0	59.77	59.55
10	61.30	61.69
20	63.59	64.15
30	64.71	65.13
40	61.41	62.18

2.3.2 微波处理对发酵过程中秸秆失重率的影响 秸秆在发酵过程中会消耗较多的纤维素等成分,发酵后秸秆的失重率是发酵效率的表征之一。由图 4 可以看出,经过微波处理处理 10、20、30、40 s,秸秆失重率由对照的 54.45% 分别增长到 58.02%、58.94%、59.48%、58.92%。说明微波处理对秸秆的分解有促进作用。

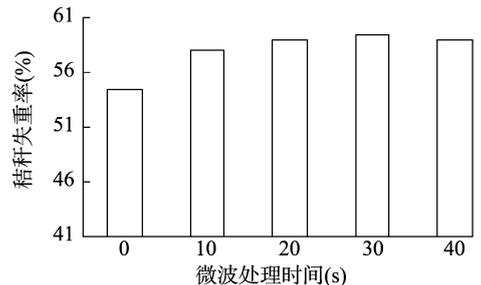


图4 秸秆的失重率

## 3 讨论

试验结果表明,微波处理能够提高秸秆厌氧发酵过程沼气的产量,每天 30 s 的微波处理能够对秸秆厌氧发酵过程有明显的促进作用,微波处理 30 s 条件下总产气量由对照的 5 765 mL 提高到 7 428 mL,提高了 28.85%。其中的原因可能是:(1)微波的非热效应能够对秸秆的晶体结构起到松散作用<sup>[18]</sup>,使可发酵的组分更容易被利用,有研究表明微波处理能够提高可发酵糖的释放量<sup>[19]</sup>;(2)非热效应对菌体的酶产量有提高作用或对酶的活性有促进作用;(3)微波的振动作用有利于秸秆表面新产生气体的释放,间接增加了可发酵的面积。

## 参考文献:

- [1]Zhang H F, Ye X N, Cheng T T, et al. A laboratory study of agricultural crop residue combustion in China: emission factors and emission inventory[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42 (36): 8432 - 8441.
- [2]Yan X, Ohara T, Akimoto H. Bottom - up estimate of biomass burning in mainland China[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40 (27): 5262 - 5273.
- [3]Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel[J]. Environment International, 2005, 31 (4): 575 - 584.
- [4]张 混, 陈文亮, 李 晖, 等. 真空变压吸附沼气净化过程的仿真研究[J]. 化工学报, 2013, 64(4): 1300 - 1305.

马力,钟海雁,陈永忠,等. 几种油料脂肪酸组成及化学成分与制油工艺相关性分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):253-255.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.085

# 几种油料脂肪酸组成及化学成分与制油工艺相关性分析

马力<sup>1,2</sup>, 钟海雁<sup>1</sup>, 陈永忠<sup>2</sup>, 彭邵锋<sup>2</sup>, 朱宁科<sup>1</sup>, 陈隆升<sup>2</sup>, 王瑞<sup>2</sup>

(1. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004; 2. 湖南省林业科学院, 湖南长沙 410004)

**摘要:**分析了油茶籽仁、花生仁、大豆、葵花籽仁的主要化学成分及含量,结果表明:油茶籽、花生、大豆、葵花籽4种油料不饱和脂肪酸含量均高于80%,属优质食用植物油。油茶籽仁、花生仁及葵花籽仁的粗脂肪含量均高于30%,属高含油油料,宜采用预榨-浸出法制油工艺。大豆的粗脂肪含量为16.02%,属低含油油料,适合采用直接浸出法制油工艺。4种油料中,油茶籽仁的蛋白质含量相对最低,适合采用冷榨制油工艺。

**关键词:**油料;脂肪酸;制油工艺;组成分析

**中图分类号:** TS221 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)01-0253-03

油茶籽、花生、大豆、葵花籽是我国主要的油料、蛋白资源<sup>[1]</sup>。油茶(*Camellia* spp.)是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)中种子含油量高、生产价值较高的油用物种的总称,是我国南方重要的木本食用油料植物,与油橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本油料树种<sup>[2-3]</sup>。目前,我国油茶籽年产量约96万t,居世界首位<sup>[4-6]</sup>。花生(*Arachis hypogaea* L.)属一年生草本植物,是高脂肪、高蛋白的食油两用作物<sup>[7-9]</sup>。我国花生产量居世界首位,2011年国内花生总产量为1620万t。大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]是豆科植物,蛋白质含量为

35%~50%,是我国的五大作物之一,2011年我国大豆产量1350万t<sup>[10-12]</sup>。我国大豆集中分布于东北松辽平原、华北黄淮平原,哈尔滨市、辽源市、长春市被称作我国大豆的“三大仓库”。葵花籽是向日葵的籽实,葵花籽油是世界三大主流食用油种之一。2002—2005年我国葵花籽产量分别约为195万t、174万t、155万t、193万t。食用植物油制取与加工技术影响油料的经济价值<sup>[13]</sup>。笔者分析了油茶籽仁、花生仁、大豆、葵花籽仁的主要化学成分及含量,旨在为选择提油方式提供依据。

收稿日期:2014-02-27

基金项目:国家工程技术研究中心建设项目(编号:2011FU125X11)。  
作者简介:马力(1982—),女,湖南湘潭人,博士研究生,助理研究员,主要从事油茶加工及副产物综合利用研究。E-mail: supermarry1@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

油茶籽(湖南省林业科学院)、花生、大豆、葵花籽(购自超市)、脂肪酸标样、茶皂素标准品(含90%茶皂素)、石油醚、

- [5] 陈文亮,张 焜,李 晖,等. 基于LS-SVM沼气净化变压吸附过程甲烷浓度建模[J]. 天然气化工,2013,38(1):36-38,50.
- [6] 张 韩,李 晖,张亚兵,等. 变压吸附在沼气脱碳中的应用[J]. 可再生能源,2013,31(3):117-120.
- [7] de la Hoz A, Diaz-Ortiz A, Moreno A E S. Review on non-thermal effects of microwave irradiation in organic synthesis[J]. J Microwave Power E E,2007,41(1):44.
- [8] Ma H, Liu W W, Chen X, et al. Enhanced enzymatic saccharification of rice straw by microwave pretreatment[J]. Bioresource Technology, 2009,100(3):1279-1284.
- [9] Toledano A, Serrano L, Labidi J, et al. Heterogeneously catalysed mild hydrogenolytic depolymerisation of lignin under microwave irradiation with hydrogen-donating solvents[J]. Chem Cat Chem,2013,5(4):977-985.
- [10] 冯 磊,李润东, Bernhard R, 等. 微波预处理对秸秆厌氧消化影响的研究[J]. 环境工程学报,2009,3(8):1503-1508.
- [11] Pang F, Xue S, Yu S S, et al. Effects of combination of steam explosion and microwave irradiation (SE-MI) pretreatment on enzymatic hydrolysis, sugar yields and structural properties of corn stover[J]. Industrial Crops and Products,2013,42:402-408.
- [12] Liu X J, Li H, Xue J H, et al. Study on biogas production using an-

aerobic fermentation of rice straw[J]. Agricultural Science & Technology,2011,12(12):1761-1764.

- [13] 薛开吉,李 建. 沼气实用技术[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2009:66-70.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 中科院成都生物所. 沼气发酵常规分析[M]. 北京:北京科技出版社,1995.
- [16] Sluiter A, Hames B, Ruiz R, et al. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass[R]. Golden Colorado: National Renewable Energy Laboratory,2012.
- [17] 李金平,柏建华,李 珍. 不同恒温条件厌氧发酵的沼气成分研究[J]. 中国沼气,2010,28(6):20-23,55.
- [18] Pang F, Xue S, Yu S S, et al. Effects of microwave power and microwave irradiation time on pretreatment efficiency and characteristics of corn stover using combination of steam explosion and microwave irradiation (SE-MI) pretreatment[J]. Bioresource Technology,2012,118:111-119.
- [19] Choudhary R, Umagiliyage A L, Liang Y A, et al. Microwave pretreatment for enzymatic saccharification of sweet sorghum bagasse [J]. Biomass and Bioenergy,2012,39:218-226.