

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 ..... 何吉成(1)

北京上甸子站气相色谱法大气 CH<sub>4</sub> 和 CO 在线观测方法研究 ..... 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 ..... 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 ..... 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 ..... 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 ..... 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远(32)

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 ..... 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)

春季胶州湾海水汞的形态研究 ..... 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 ..... 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 ..... 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 ..... 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)

北京市城市降雨径流水质评价研究 ..... 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 ..... 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 ..... 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)

Pd/TiO<sub>2</sub> 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 ..... 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)

pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响 ..... 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 ..... 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 ..... 宋大平,庄大方,陈巍(110)

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 ..... 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 ..... 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)

pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 ..... 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 ..... 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 ..... 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 ..... 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)

活性污泥对四环素的吸附性能研究 ..... 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 ..... 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 ..... 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 ..... 王晓玲,尹军,高尚(175)

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 ..... 董峰,张捍民,杨凤林(181)

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 ..... 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 ..... 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 ..... 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 ..... 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 ..... 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 ..... 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 ..... 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)

纳米 TiO<sub>2</sub> 对短裸甲藻的毒性效应 ..... 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)

苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 ..... 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 ..... 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 ..... 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 ..... 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 ..... 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 ..... 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 ..... 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 ..... 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)

Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 ..... 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 ..... 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 ..... 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)

黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 ..... 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 ..... 张健,关连珠,颜丽(323)

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 ..... 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

# 鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究

陈广银, 常志州\*, 叶小梅, 杜静, 徐跃定, 张建英

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 南京 210014)

**摘要:** 在中温(35°C ± 1°C)条件下, 采用批式发酵方式, 进行了鸡粪与互花米草沼渣不同混合比例的厌氧发酵实验. 实验设置鸡粪: 互花米草沼渣干物质(TS)比分别为 5:0(T1)、4:1(T2)、3:2(T3)、2:3(T4)、1:4(T5)和 0:5(T6)共 6 个处理. 结果表明, 经中温干发酵后的互花米草沼渣仍具有一定的厌氧产沼气能力, TS 产气量为 107.25 mL·g<sup>-1</sup>, 甲烷含量为 76.92%, 厌氧微生物对互花米草沼渣纤维素的结晶区有一定的破坏作用, 厌氧发酵后纤维素的相对结晶度指数 C<sub>r</sub>I 下降了 5.55%; 将鸡粪与互花米草沼渣混合发酵, 明显提高了原料的厌氧产气性能, T2 的产气效果最好, T1、T3 ~ T6 的累积产气量分别为 T2 的 61.31%、62.09%、52.15%、39.74% 和 31.67%; 鸡粪与互花米草沼渣混合发酵的产酸类型为混合型发酵, 发酵过程中未出现酸化现象; 混合发酵对破坏互花米草沼渣纤维素的结晶区有利, 促进效果在 1.13% ~ 21.61%.

**关键词:** 互花米草沼渣; 鸡粪; 混合发酵; 沼气; 甲烷

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0203-05

## Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and *Spartina alterniflora* Residue After Producing Methane

CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, DU Jing, XU Yue-ding, ZHANG Jian-ying

(Jiangsu Agricultural Waste Treatment and Recycle Engineering Research Center, Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The characteristics of *Spartina alterniflora* residue after producing methane (SAR) digested alone and co-digestion of various proportions of chicken manure and SAR were investigated by batch model at 35°C ± 1°C. The initial total solid (TS) loading of all treatments was 8.0%. The results indicated that there was still some biogas produced by SAR with TS biogas yield of 107.25 mL·g<sup>-1</sup> and average methane content of 76.92%. The cellulose crystallinity of re-digested SAR was destructed by anaerobic microorganisms, and the destruction rate was 5.55%. Co-digestion meliorated the environment where microorganisms lived in and increased the cumulative biogas yield. When the ratio of chicken manure to SAR was 4:1, the cumulative biogas yield was highest while the cumulative biogas yield of T1 (the rate of chicken manure to SAR is 5:0 based on TS), T3-T6 (the rate of chicken manure to SAR are 3:2, 2:3, 1:4 and 0:5 based on TS, respectively) were 61.31%, 62.09%, 52.15%, 39.74% and 31.67% of it. The anaerobic fermentation type of co-digestion is mix acid type fermentation. Co-digested with chicken manure promoted the destruction of cellulose crystallinity by 1.13%-21.61% and especially when the rate of chicken manure to SAR was 4:1.

**Key words:** *Spartina alterniflora* residue after producing methane; chicken manure; anaerobic co-digestion; biogas; methane

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 是禾本科米草属的多年生草本植物, 耐盐耐淹能力强, 适宜在高潮带下部至中潮带上部的潮间带生长. 据调查, 目前互花米草在我国海岸带的分布面积达 34 451 hm<sup>2</sup>, 覆盖了除海南岛、台湾岛之外的全部沿海省份. 其中, 江苏海岸带分布最广, 达 18 711 hm<sup>2</sup>[1]. 2003 年, 互花米草被国家环境保护总局列入外来入侵生物名单. 通过厌氧发酵将互花米草转化为沼气, 是经济有效地利用互花米草这一资源的技术途径之一, 对缓解我国沿海地区紧缺的能源形势具有重要意义.

将互花米草厌氧发酵产沼气, 国内学者在这方面进行了大量探索性的研究, 概括起来包括以下几方面: 直接发酵<sup>[2, 3]</sup>、过程控制<sup>[4, 5]</sup>、预处理<sup>[6~8]</sup>和混合发酵<sup>[9, 10]</sup>. 前期研究发现, 互花米草厌氧发酵

干物质减量化率大多在 50% 左右, 厌氧发酵后产生大量的沼渣, 沼渣中木质素含量较发酵前大幅提高, 但纤维素和半纤维素含量仍较高, 应仍有较高的产沼气潜力. 罗艳等<sup>[11]</sup>研究了互花米草中温湿发酵后沼渣的厌氧产沼潜力, 结果显示, 互花米草沼渣仍具有较好的产沼气特性, 以 4%、6% 和 8% NaOH 溶液处理后互花米草沼渣干物质 (total solid, TS) 产气量分别为 262、276 和 282 mL·g<sup>-1</sup>, 甲烷含量分别为 72%、72%、69%. 作者前期研究互花米草高温干发酵后沼渣的厌氧产气潜力时, 也得出类似的结

收稿日期: 2011-03-30; 修订日期: 2011-05-26

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(200903011-01)

作者简介: 陈广银(1981~), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为生物质能, E-mail: chengy522@gmail.com

\* 通讯联系人, E-mail: czhizhou@hotmail.com

果<sup>[12]</sup>.

将不同特性的有机废物混合发酵产沼气,弥补了单一原料的诸多不足(原料供应、C/N、物质组成和 pH 等),且可以大幅提高原料的产气量和产气速率,是近年来厌氧发酵领域的研究热点之一. 鸡粪是养鸡场产生的主要废物,产量大、分布广. 鸡粪中易分解有机物含量高、C/N 比低,互花米草沼渣中易分解有机物含量低、C/N 比高,将鸡粪与互花米草沼渣混合发酵,可以弥补两者的不足,国内外鲜见这方面的研究报道.

本研究以鸡粪和互花米草中温干发酵后的沼渣为原料,探讨鸡粪与互花米草沼渣不同比例混合发酵的可行性,从产气特性、物质转化等角度进行较系统的研究,以为互花米草工程化应用提供理论参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

互花米草为 2009 年 8 月取自江苏省大丰市川东闸海滩,在互花米草 TS 浓度为 20%、发酵温度为  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  下进行了 90 d 的厌氧发酵实验. 实验结束时,互花米草 TS 产气量为  $388.39 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ,TS 损失率为 49.12%. 将厌氧发酵后的互花米草沼渣用蒸馏水清洗干净,自然风干后用于本实验. 鸡粪取自南京市浦口区某养鸡场. 厌氧消化污泥为前批互花米草厌氧消化实验后的消化液. 实验原料的基本理化性质见表 1.

表 1 厌氧消化原料的基本特性

样品	TS/%	VS/%	C/%	N/%	C/N
沼渣	92.14	95.42	47.49	1.55	30.96
鸡粪	61.91	77.97	37.07	4.09	9.06
污泥	4.90	52.85			

### 1.2 实验方法

采用 1 000 mL 广口瓶模拟厌氧反应器,将实验原料放入瓶中,接种,用蒸馏水调整到合适的 TS 浓度. 实验开始时,向反应器内充入氮气 2 min 以驱赶反应器内的空气,用橡胶塞密封,放入  $35.0^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  的恒温水浴锅中培养,每组 2 个平行,取平均值进行分析. 实验方案如表 2 所示.

厌氧发酵过程中,不定期取样测定 pH 值和挥发性脂肪酸含量;每日测定产气量和甲烷含量,计算累积产气量;将厌氧发酵后的沼渣用蒸馏水清洗,风干后粉碎,过孔径为 0.15 mm 筛,用于 X-射线衍射分析(X-ray diffraction, XRD).

表 2 实验设计

处理	TS 负荷 /%	鸡粪 TS 质量/g	沼渣 TS 质量/g	鸡粪:米草	总重 /g	污泥 /g
T1	8	64.0	0.0	100:0	800	400
T2	8	51.2	12.8	80:20	800	400
T3	8	38.4	25.6	60:40	800	400
T4	8	25.6	38.4	40:60	800	400
T5	8	12.8	51.2	20:80	800	400
T6	8	0.0	64.0	100:0	800	400

以排水(饱和 NaCl 溶液)集气法收集气体,每日测定产气量;采用 GC-2014 气相色谱仪分析产气中甲烷含量(TCD 检测器);消化液的 pH 值用精密 pH 计测定(METER 6219);将消化液在  $4^{\circ}\text{C}$  下  $12\,000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 20 min 后,取上清液过  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜后用于测定乙酸、丙酸和丁酸(GC-2014,日本岛津);X 射线衍射谱图采用 X 射线衍射仪测定(XTRA,瑞士 ARL 公司),纤维素结晶度的计算见文献[3].

## 2 结果与分析

### 2.1 产气特性的影响

图 1 是厌氧发酵过程中日产气量的变化曲线. 可以看出, T1 ~ T6 在实验初期产气量迅速增加,分别在实验第 1、1、1、1、3 和 5 d 日产气量达到最大,分别为 2 896、3 001、2 029、1 481、878 和 591 mL,之后缓慢下降,原料中鸡粪的比例越高日产气量的峰值越大,产气高峰出现得越早. 实验 20 d 后, T2 的日产气量明显高于其它处理. 实验结束时, T1 ~ T6 的累积产气量分别为 13 291、21 680、13 461、11 306、8 616 和 6 864 mL. 以 T2 的累积产气量为 100% 计, T1、T3、T4、

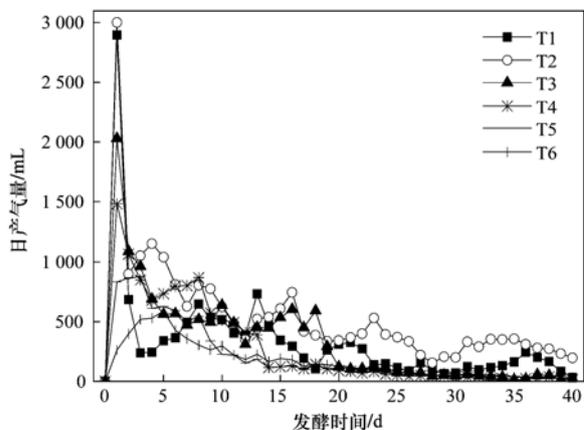


图 1 厌氧发酵过程中日产气量的变化

Fig. 1 Daily biogas yields during anaerobic digestion

T5 和 T6 的累积产气量分别为 T2 的 61.31%、62.09%、52.15%、39.74% 和 31.67%。与互花米草与牛粪混合发酵相比,互花米草沼渣与鸡粪混合发酵的产气速率更快,但维持高产气量的时间短,产气周期短<sup>[9]</sup>。

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵的产气数据见表 3。可以看出,发酵原料的 C/N 与混合物中互花米草沼渣的比例成正比;甲烷含量随着互花米草沼渣比例的提高先降低后增加,提高互花米草沼渣的比例可以提高沼气的品质;TS 产气量的变化与甲烷含量相反。若以鸡粪的 TS 产甲烷量 141.76 mL·g<sup>-1</sup>、互花米草沼渣的 TS 产甲烷量 82.50 mL·g<sup>-1</sup>为基

准,可以得到 T2 ~ T5 对照样的产甲烷量分别为 129.90、118.05、106.20 和 94.35 mL·g<sup>-1</sup>,混合发酵后 T2 ~ T5 的 TS 产甲烷量较对照样分别增加了 61.42%、24.63%、17.34 和 7.61%,表明将鸡粪与互花米草沼渣混合发酵可以提高产甲烷量,以 80% 鸡粪与 20% 互花米草沼渣混合发酵的产气效果最好。从表 3 还可以看出,互花米草沼渣仍具有一定的产沼气能力,TS 产气量为 107.25 mL·g<sup>-1</sup>,甲烷含量(体积分数)达 76.92%。将互花米草沼渣预处理后再次厌氧发酵产沼气,不但大幅降低了预处理成本,产气量也大幅提高,这在罗艳等<sup>[11]</sup>的研究结果中得到了验证。

表 3 鸡粪与互花米草沼渣混合发酵的产气数据

Table 3 Gas data of anaerobic co-digestion of chicken manure and *S. alterniflora* residue after producing methane

项目	T1	T2	T3	T4	T5	T6
初始 C/N	9.06	13.44	17.82	22.20	26.58	30.96
平均甲烷含量/%	68.26	61.9	69.95	70.54	75.41	76.92
TS 产气量/mL·g <sup>-1</sup>	207.67	338.75	210.33	176.66	134.63	107.25
TS 产甲烷量/mL·g <sup>-1</sup>	141.76	209.69	147.12	124.61	101.52	82.50
促进产气效果(以甲烷计)/%	—	61.42	24.63	17.34	7.61	—

## 2.2 pH 值的变化

pH 值的变化见图 2。各处理变化趋势相似,均为先降低后增加,最后相对稳定。T2 ~ T6 的 pH 值均在实验第 2 d 达到最低,分别为 6.67、7.10、7.34、7.45 和 7.55, T1 的在第 4 d 达到最低值 6.47。发酵物料中鸡粪的比例越高, pH 值的最低值越低,说明互花米草沼渣中易分解有机物含量较低。鸡粪单独发酵存在酸化的风险,混合发酵则可以提高发酵液的 pH 值,降低酸化的风险。

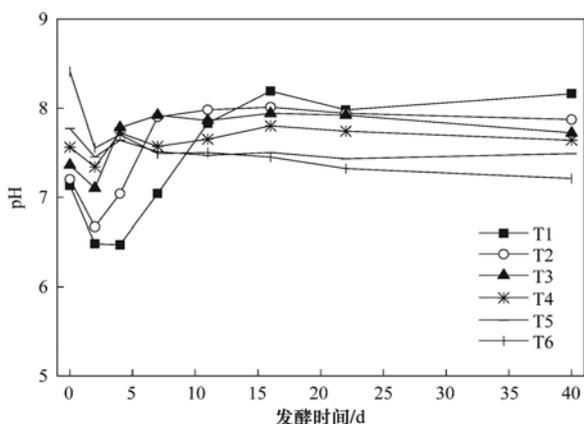


图 2 消化过程中 pH 值的变化

Fig. 2 Changes of pH value during anaerobic digestion

## 2.3 挥发性脂肪酸(VFAs)的变化

图 3 是厌氧发酵过程中各处理乙酸、丙酸、丁酸

和挥发性脂肪酸(VFAs)的变化曲线。

由图 3(a)可以看出,各处理乙酸质量浓度均为先增加后降低,分别在实验第 2、2、2、2、3 和 3 d 达到最大值,分别为 1564.42、4781.75、1929.79、2088.76、972.89 和 753.29 mg·L<sup>-1</sup>,之后缓慢下降。在各处理中,T2 的乙酸质量浓度明显高于其他处理。

由图 3(b)可知,除 T1 外,各处理丙酸质量浓度均先增加后降低,T2 ~ T6 分别在实验第 2、7、11、7 和 4 d 达到最大值,分别为 618.20、718.28、615、412.82 和 250 mg·L<sup>-1</sup>,之后缓慢降低。各处理丁酸质量浓度的变化[见图 3(c)]与丙酸的变化趋势极为相似,只是质量浓度较丙酸稍低。

各处理 VFAs 的变化见表 3(d)。可以看出,除 T1 外,各处理 VFAs 质量浓度均为先增加后降低,T2 ~ T6 分别在实验第 2、7、2、4 和 4 d 达到最大值,分别为 5962.89、2702.96、2813.01、1555.71 和 1116.29 mg·L<sup>-1</sup>,之后缓慢降低。T1 从实验开始, VFAs 质量浓度不断降低,从实验第 0 d 的 2497.49 mg·L<sup>-1</sup>降至实验结束时的 636.26 mg·L<sup>-1</sup>。在实验前 5 d,各处理中 T2 的 VFAs 质量浓度最高,T6 的质量浓度最低,这与产气量的结果一致。将图 3(d)与图 2 比较后发现, VFAs 的峰值刚好对应于 pH 的谷值,表明发酵液中挥发性脂肪酸质量浓度是影响发酵液 pH 值的主要因素。

综合图 3 的结果来看,鸡粪的厌氧产酸类型为混合型发酵,互花米草沼渣为丙酸型发酵,在鸡粪中

添加互花米草沼渣不会改变鸡粪的厌氧产酸类型,混合物的厌氧产酸类型仍为混合型发酵。

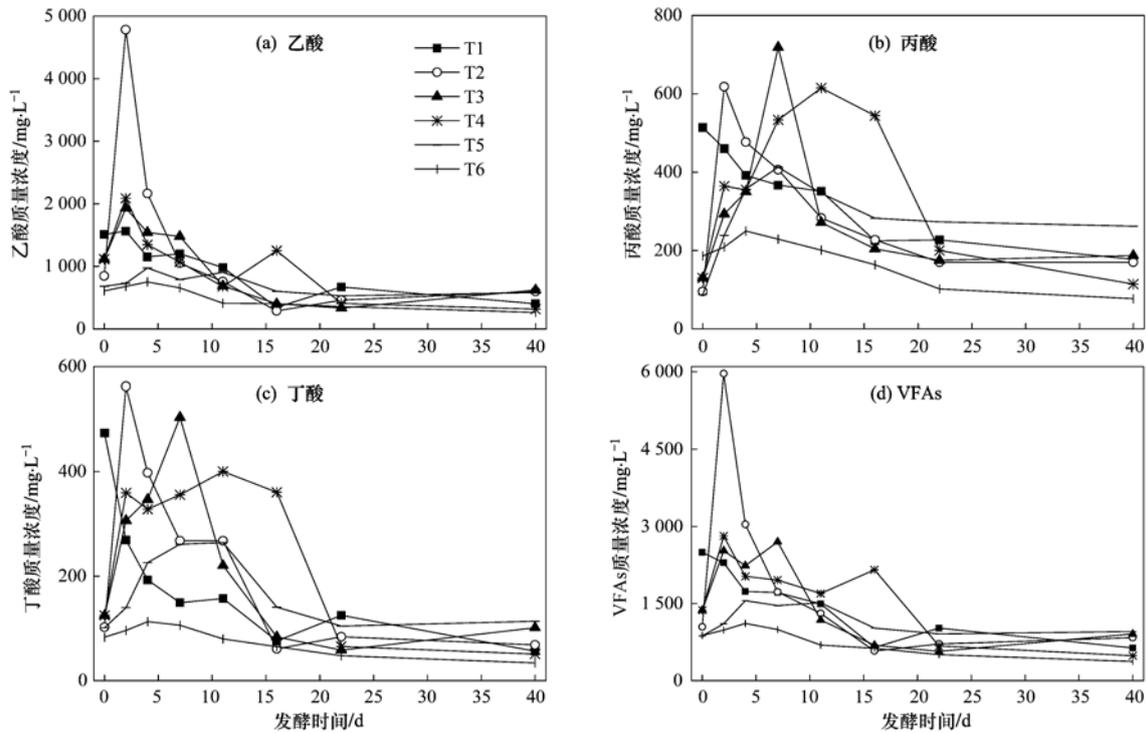


图 3 消化过程中挥发性脂肪酸 (VFAs) 的变化

Fig. 3 Changes of volatile fatty acids during anaerobic digestion

## 2.4 XRD 谱图分析

经 40 d 的混合厌氧发酵处理后,各处理互花米草沼渣的 X 射线衍射 (XRD) 谱图见图 4。

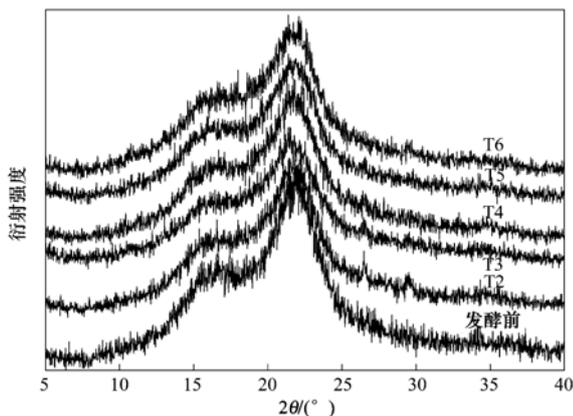


图 4 厌氧发酵前后互花米草沼渣的 X 射线衍射谱图

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of *S. alterniflora* residue after producing methane

由图 4 可知,各处理均在  $2\theta = 22^\circ$  附近有一极大峰,这是 002 晶面的衍射峰,单从图谱来说,衍射峰越尖锐,晶体结晶程度越高<sup>[13]</sup>,厌氧发酵后各处理在该处的衍射峰强度均减弱,混合发酵前的互花

米草沼渣、T2 ~ T6 在该处的峰高值分别为 1 993.33、1 562.50、1 412.50、1 754.17、1 662.50 和 1 662.50。T2 ~ T6 的相对结晶度指数  $C_rI$  分别为 0.312 0、0.362 8、0.382 0、0.393 5 和 0.398 0,混合发酵前互花米草沼渣的相对结晶度指数  $C_rI$  为 0.421 4,厌氧发酵后 T2 ~ T6 结晶度指数  $C_rI$  较发酵前分别降低了 25.96%、13.90%、9.35%、6.63% 和 5.55%,可以看出,厌氧发酵破坏了互花米草沼渣纤维素的结晶区,混合发酵促进了纤维素结晶区的破坏,促进效果在 1.13% ~ 21.61%。鸡粪与互花米草沼渣 TS 比 4:1 混合发酵对纤维素结晶区的破坏效果最好,这与产气的结果一致。

## 3 结论

(1) 经中温干式厌氧发酵后的互花米草沼渣仍具有一定的产沼气能力,在 TS 浓度 8%、发酵温度  $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  下,TS 产气量为  $107.25 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ,甲烷含量为 76.92%。

(2) 将互花米草沼渣作为调节 C/N 的材料与鸡粪混合发酵产沼气,不但提高了厌氧微生物的产甲烷活性和产沼气速率,而且实现了沼渣的二次沼气

利用. 在互花米草沼渣的各种添加比例中, 以 80% 鸡粪与 20% 互花米草沼渣 (TS 比) 混合发酵的产气效果最好. 以 T2 的累积产气量为 100% 计, T1、T3、T4、T5 和 T6 的累积产气量分别为 T2 的 61.31%、62.09%、52.15%、39.74% 和 31.67%.

(3) 鸡粪与互花米草沼渣混合发酵的产酸类型为混合型发酵, 发酵过程未出现酸化现象.

(4) 将鸡粪与互花米草沼渣混合发酵, 对破坏互花米草沼渣纤维素的结晶区有利, 促进效果在 1.13% ~ 21.61%.

#### 参考文献:

- [1] 关道明. 中国滨海湿地米草盐沼生态系统与管理 [M]. 北京: 海洋出版社, 2009. 1-2.
- [2] Yang S G, Li J H, Zheng Z, *et al.* Characterization of *Spartina alterniflora* as feedstock for anaerobic digestion [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2008, **33**(4): 597-602.
- [3] 陈广银, 郑正, 邹星星, 等. 互花米草厌氧消化产沼气的实验研究 [J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(8): 861-866.
- [4] 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.
- [5] 陈广银, 郑正, 邹星星, 等. 光照对互花米草厌氧消化过程的影响 [J]. *环境化学*, 2009, **28**(5): 640-644.
- [6] 邹星星, 郑正, 杨世关, 等. 汽爆预处理对互花米草厌氧发酵产气特性的影响 [J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(10): 1117-1120.
- [7] 陈广银, 郑正, 常志州, 等. 碱处理对互花米草理化特性的影响研究 [J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(3): 245-252.
- [8] 孟卓. 氨液浸泡及真空处理对互花米草厌氧发酵特性影响研究 [D]. 南京: 南京大学, 2008.
- [9] Chen G Y, Zheng Z, Yang S G, *et al.* Improving conversion of *Spartina alterniflora* into biogas by co-digestion with cow feces [J]. *Fuel Processing Technology*, 2010, **91**(11): 1416-1421.
- [10] Li J H, Yang S G, Zheng Z, *et al.* Anaerobic batch co-digestion of *Spartina alterniflora* and potato [J]. *International Journal of Environment and Pollution*, 2011, **45**(1/2/3): 81-95.
- [11] 罗艳, 陈广银, 罗兴章, 等. NaOH 溶液间歇式处理对互花米草厌氧发酵特性的影响 [J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(10): 2017-2021.
- [12] 陈广银, 郑正, 常志州, 等. NaOH 处理对互花米草深度气化处理的影响 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2485-2491.
- [13] Komilis D P, Ham R K. The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes [J]. *Waste Management*, 2003, **23**(5): 419-423.

## CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years .....	HE Ji-cheng ( 1 )
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH <sub>4</sub> and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station .....	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> ( 8 )
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010 .....	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> ( 13 )
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province .....	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> ( 20 )
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert .....	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> ( 26 )
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene .....	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> ( 32 )
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring .....	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> ( 37 )
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring .....	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> ( 42 )
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan .....	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> ( 48 )
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River .....	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> ( 55 )
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill .....	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> ( 64 )
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff .....	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 71 )
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> ( 76 )
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration .....	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> ( 83 )
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO <sub>2</sub> .....	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> ( 88 )
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron .....	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> ( 94 )
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System .....	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> ( 104 )
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province .....	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei ( 110 )
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater .....	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> ( 117 )
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon .....	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling ( 124 )
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments .....	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> ( 129 )
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments .....	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> ( 135 )
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues .....	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> ( 142 )
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons .....	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> ( 147 )
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge .....	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> ( 156 )
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station .....	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> ( 163 )
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil .....	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> ( 169 )
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone .....	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang ( 175 )
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter .....	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin ( 181 )
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System .....	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> ( 191 )
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter .....	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> ( 197 )
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane .....	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> ( 203 )
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing .....	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> ( 208 )
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme .....	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 216 )
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection .....	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> ( 222 )
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i> .....	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> ( 228 )
Toxic Effects of Nano-TiO <sub>2</sub> on <i>Gymnodinium breve</i> .....	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 233 )
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks .....	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> ( 239 )
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area .....	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> ( 247 )
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk .....	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> ( 253 )
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin .....	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> ( 260 )
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China .....	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> ( 266 )
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions .....	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> ( 273 )
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology .....	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> ( 280 )
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury .....	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> ( 286 )
Effect of Zn ( II ) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source .....	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> ( 293 )
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil .....	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> ( 299 )
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE .....	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> ( 305 )
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China .....	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> ( 314 )
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation .....	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li ( 323 )
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions .....	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> ( 329 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊