

添加蚯蚓粪对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响

冯文谦¹, 李小建^{1,2}, 王德汉¹, 周振鹏¹, 邓加曦¹

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 惠州市欣荣环境保护科技有限公司, 广东 惠州 516001)

摘要:以餐厨垃圾为研究对象,在(37±1)℃的条件下,研究了蚯蚓粪的5种不同添加量对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响,并考察了在这过程中pH、溶解性化学需氧量(SCOD)、挥发性脂肪酸(VFAs)、总磷(TP)和产气量的变化规律. 研究表明:当蚯蚓粪的添加量(w ,均以湿基计)为0、3%、6%、9%、12%、15%时,餐厨垃圾厌氧消化系统的累积产量分别为14 700、16 074、15 702、16 056、16 414和16 485 mL,产气率分别达到466.35、504.84、488.02、494.03、499.67、496.69 mL·g⁻¹,与不添加蚯蚓粪相比产气率分别提高了8.25%、4.60%、5.93%、7.14%和6.51%,其中当添加量(w)为3%时对餐厨垃圾厌氧消化效果最明显. 研究还发现,蚯蚓粪的添加能显著提高各处理的pH和餐厨垃圾的水解酸化速率. 可见,添加蚯蚓粪有助于抑制VFAs的累积,使pH更稳定,从而提高沼气产量.

关键词:餐厨垃圾; 蚯蚓粪; 厌氧消化

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)03-0326-05

Effect of Addition of Earthworm Manure on Anaerobic Digestion Processes of Food Waste

FENG Wen-qian¹, LI Xiao-jian^{1,2}, WANG De-han¹, ZHOU Zhen-peng¹, DENG Jia-xi¹

(1 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Huizhou Xinrong Environmental Protection Technology Co. Ltd., Huizhou 516001, China)

Abstract: The influences of five different added dosages of earthworm manure on anaerobic digestion of food waste were investigated at (37±1)℃. The variations of pH, SCOD, VFAs, TP and biogas yield in the anaerobic digestion processes were studied. The experimental results showed that the accumulations of biogas yield were 14 700, 16 074, 15 702, 16 056, 16 414 and 16 485 mL and the biogas yield rate reached 466.35, 504.84, 488.02, 494.03, 499.67 and 496.69 mL·g⁻¹ when the earthworm manure added were 0, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% (w , wet substrate), respectively, and their outputs were increased by 8.25%, 4.60%, 5.93%, 7.14% and 6.51%, respectively. The earthworm manure could enhance the biogas production most significantly at the dosage of 3%. During the process of the anaerobic digestion, the addition of earthworm manure could improve the pH value and the hydrogenesis and acidogenesis rate of food waste significantly. Therefore, the addition of earthworm manure could prevent VFAs accumulation, buffer the decrease of pH value and increase the biogas yield.

Key words: food waste; earthworm manure; anaerobic digestion

餐厨垃圾也称泔脚废弃物,是居民在生活消费过程中必然产生的一种极易腐烂变质的剩饭、剩菜,

收稿日期: 2011-05-05

作者简介: 冯文谦(1986—),男,硕士研究生;通信作者: 王德汉(1965—),男,教授,博士, E-mail: dehanwang@scau.edu.cn

基金项目: 华南农业大学资源环境学院科技创新项目(2010年度)

也是生活垃圾主要组成部分,主要产生于居民日常生活、高校及企事业单位食堂、各种酒店餐馆等.它以淀粉类、动物脂肪类等有机物质为主要成分,具有高含水率、高有机物含量等特性,适宜采用厌氧消化技术进行生物质能的转化^[1].由于餐厨垃圾偏酸性且易酸化水解,单独厌氧消化存在有机酸抑制严重的现象^[2-3].因而,选择一种合适的添加剂对餐厨垃圾厌氧消化处理有着非常重要的作用,王星等^[4]研究了膨润土的添加用量对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响,并发现膨润土的添加对餐厨垃圾厌氧消化过程中的 pH 变化有一定的缓冲作用.

蚯蚓粪是蚯蚓新陈代谢产生的排泄物,富含多种养分,目前已被广泛用于土壤的改良培肥和作物增产.其中,蚯蚓粪作为有机肥在生产上的应用最为普遍^[5-6].已有研究表明,蚯蚓粪具有弱碱性,蚯蚓粪中还含有大量放线菌和兼性厌氧微生物,这些都有利于提高厌氧消化效率和沼气的产量.随着环境问题的加剧,已有学者将其应用到环境治理方面,并取得了一定的效果.张彦等^[7]探究了蚯蚓粪对废水厌氧发酵的影响,得出在厌氧发酵瓶中加入一定质量的蚯蚓粪,可以提高沼气产率与化学需氧量(COD)降解速率.刘慧等^[8]也研究了蚯蚓粪对玉米秸秆厌氧消化产气效果的影响,结果发现添加蚯蚓粪有助于抑制酸的累积,减缓 pH 的降低速度,使 pH 更稳定,为产甲烷过程创造良好的条件.但关于蚯蚓粪对餐厨垃圾厌氧消化过程影响方面的研究鲜见报道.本文主要研究了蚯蚓粪的添加量对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响,并考察了在这个过程中 pH、溶解性化学需氧量(SCOD)、挥发性脂肪酸(VFAs)、总磷(TP)和产气量的变化规律,旨在为今后餐厨垃圾的资源化处理提供一定参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用原料主要为餐厨垃圾、蚯蚓粪和厌氧接种污泥,其中餐厨垃圾取于华南农业大学校内某一学生食堂,主要是餐后垃圾,挑出骨头后用机械打浆,制成糊状半流体态,于冷柜内(-4℃)保存备用.蚯蚓粪取于广州某蚯蚓养殖基地,蚯蚓品种为赤子爱胜蚓,蚯蚓的食料为牛粪,购回的蚯蚓粪风干后磨碎过20目筛,取筛下物备用.接种污泥采用驯化方式培养,选取经过一定时间厌氧发酵驯化后的城市浓缩池污泥作为接种污泥.各物料的基本理化性

质如表1所示.

表1 厌氧消化原料的基本特性

Tab.1 Basic properties of raw materials for anaerobic digestion

物料	w/%					占比 ²⁾ / %	pH
	总固体	有机质	总N	总P	总K		
餐厨垃圾	22.01	89.07	3.73	0.96	0.61	94.98	6.70
蚯蚓粪	91.7	38.68	9.11	10.26	1.73	46.45	7.81
接种污泥	6.96	30.41	2.39	6.47	1.42	39.83	7.47

1)有机质、总N、总P和总K质量分数均以干质量计;2)挥发性固体占总固体的比例.

1.2 试验装置

试验装置如图1所示,主要由1000 mL的广口消化瓶、1000 mL吸收瓶和1000 mL集水瓶3个部分组成.消化瓶处在(37±1)℃的水浴中,消化过程产生的气体经聚乙烯管进入吸收瓶,同时等体积的30 g/L NaOH溶液被压至集水瓶,每天用量筒量取集水瓶中液体的体积,气体经过30 g/L NaOH溶液吸收瓶之后,排入集水瓶的液体体积可以视为纯甲烷体积^[9].在试验材料入瓶前和每次取样前,先关闭阀门3,然后在物料入瓶后和取样完成后打开阀门2,从阀门1向消化瓶通入N₂ 2 min,以保持消化瓶内为厌氧环境.

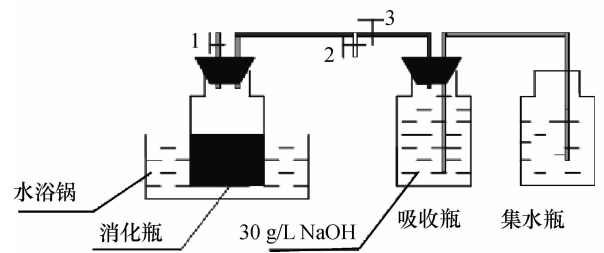


图1 餐厨垃圾厌氧消化装置

Fig.1 Experimental configuration of anaerobic digestion of food waste

1.3 试验方法

本次试验设6个处理,每个处理取150 g餐厨垃圾和150 g种泥,对照组(CK)不添加蚯蚓粪,其余处理按照物料(蚯蚓类:餐厨垃圾)的质量分数3%、6%、9%、12%、15%(均以湿基计)添加相应量的蚯蚓粪,然后再加入蒸馏水,使得各消化瓶物料总质量均为700 g.投料后将消化瓶密封好,置于(37±1)℃的恒温水浴锅中.整个试验过程持续45 d,期间每天定时摇动消化瓶,起到搅拌作用.试验开始时,由于餐厨垃圾水解酸化剧烈,造成pH迅速下降,因此,

试验开始的前4 d采用少量50 g/L KOH来调节系统的pH,使pH维持在7左右,之后不再调节。

1.4 测定项目及方法

沼气产量采用排水取气法;总固体(TS)和挥发性固体物(VS)采用烘干法;挥发性脂肪酸(VFAs)采用蒸馏滴定法,结果以乙酸计;SCOD采用重铬酸钾滴定法;总磷(TP)采用过硫酸钾消解钼蓝比色法.具体操作参考贺延龄^[10]的方法。

2 结果与分析

2.1 添加蚯蚓粪对厌氧消化过程消化液pH的影响

Raghida等^[11]认为在产甲烷阶段,未分解的VFAs将会使系统pH下降,抑制产甲烷菌的生长,造成VFAs的积累,导致厌氧反应器系统酸化,严重的甚至导致反应失败.因此,当pH过低时,需要人为调节,以使反应能顺利进行.如图2所示,各处理消化液的pH总趋势都是先下降后升高,中间略有波动.在第2天,由于餐厨垃圾迅速水解酸化,产生大量的VFAs,从而使pH迅速下降到4~5之间,经过4 d的人为调节后,pH慢慢回升,在反应进行的第13天,各处理的pH基本上达到了7左右,17 d后,pH都趋于稳定,维持在8~9.添加蚯蚓粪后各处理消化液的pH略高于CK,主要是由于蚯蚓粪呈中性偏碱所致,说明添加蚯蚓粪对稳定pH和抑制酸化有一定作用,其中,添加量3%处理的pH在整个过程中基本上略高于其他处理。

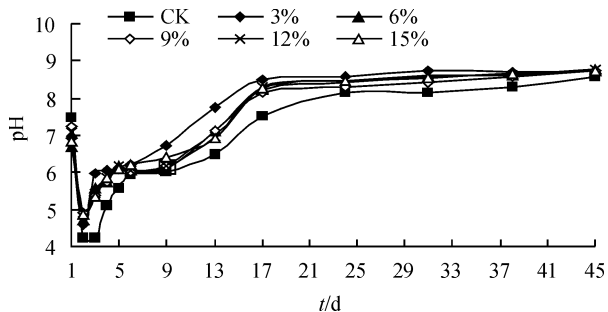


图2 厌氧消化过程中pH的变化曲线

Fig. 2 Variations of pH value during anaerobic digestion

2.2 添加蚯蚓粪对厌氧消化过程消化液VFAs质量浓度的变化

VFAs是厌氧消化过程中有机物降解时产生的重要中间产物,同时也是产甲烷菌的主要底物^[12],过低的VFAs浓度将导致消化系统出现产气缓慢的现象,较高的VFAs浓度对产甲烷菌有抑制作用.由图3可见,各消化瓶的VFAs质量浓度变化趋势基本呈

现先上升后下降的趋势,变化范围为264.5~14 134.3 mg·L⁻¹,并且在第13天达到峰值,此时消化系统出现有机酸抑制现象,导致甲烷产量相对较低,然后随着VFAs慢慢回落,产甲烷菌的活性慢慢增强,各处理的产气量相继出现峰值,除了CK外,其他处理在45 d后VFAs质量浓度都低于1 000 mg·L⁻¹.与此同时,在反应进行的前13 d里,添加蚯蚓粪处理的VFAs质量浓度明显高于CK,随后它们的VFAs质量浓度下降速率也比CK快,可见,添加蚯蚓粪可以提高餐厨垃圾的水解酸化速率,使更多的有机物水解溶出,提高了VFAs质量浓度,同时,也提高了产甲烷菌利用VFAs的速率,从而增加了产气潜力,这与产气结果是一致的,其中,3%处理的VFAs浓度下降最快。

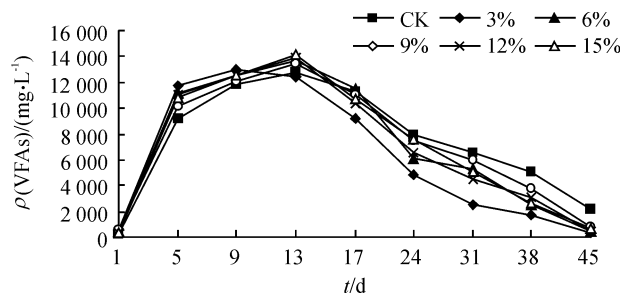


图3 厌氧消化过程中VFAs质量浓度的变化

Fig. 3 Variations of VFAs concentration during anaerobic digestion

2.3 添加蚯蚓粪对厌氧消化过程消化液SCOD的变化

餐厨垃圾中富含淀粉、油脂物质,同时纤维素含量较低,因此在厌氧消化初期水解迅速,SCOD急剧上升.由图4可知,各处理的SCOD变化趋势大致与VFAs类似,都是先上升后下降,最后趋于平稳.开始的前13 d,餐厨垃圾里面大量的有机物被水解溶出,使各处理的SCOD急剧上升达到20 000 mg·L⁻¹左右,随后由于产甲烷菌的作用,使SCOD慢慢下降,38 d之后,因为系统中可利用的有机物被细菌分解殆尽,所以趋向稳定,经过45 d的厌氧消化,各处理的SCOD去除率分别为76.5%、88.3%、80.9%、81.4%、82.8%和79.8%.同样,添加蚯蚓粪后的各处理与CK相比,有机物溶出速率快,SCOD的下降速率也加快,可能是蚯蚓粪为发酵瓶中的消化液提供了一定量的兼性厌氧微生物或酶,同时,蚯蚓粪还为微生物的活动提供一定量的养分,从而使反应速率加快。

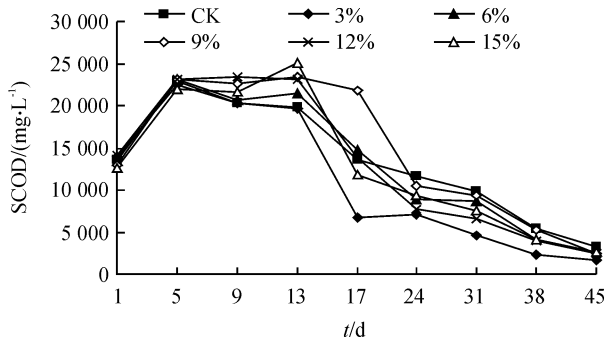


图4 厌氧消化过程中 SCOD 的变化

Fig. 4 Variations of SCOD during anaerobic digestion

2.4 蚯蚓粪对厌氧消化过程中消化液 TP 质量浓度的变化

由图5可知,消化液中TP质量浓度经历了几个变化趋势,开始时TP质量浓度下降可能是因为微生物活动需要一定量的养分,接着蚯蚓粪也不断被水解,里面的养分溶出到消化液中从而使TP质量浓度回升,在第13天,各处理达到最大值,之后又慢慢回落,在整个过程中,蚯蚓粪添加量越大,TP的质量浓度也越大.第13天,各处理的pH上升到7左右,这时随着消化液pH的升高,一方面大量的Ca²⁺与消化液中的磷酸盐形成最稳固的羟基磷酸钙沉淀^[13],另一方面大量的Mg²⁺与磷酸盐合成磷酸铵镁沉淀^[14],从而使消化液中的TP质量浓度下降,这与马磊等^[15]研究餐厨垃圾的高温厌氧消化处理中TP质量浓度的变化趋势基本相同.

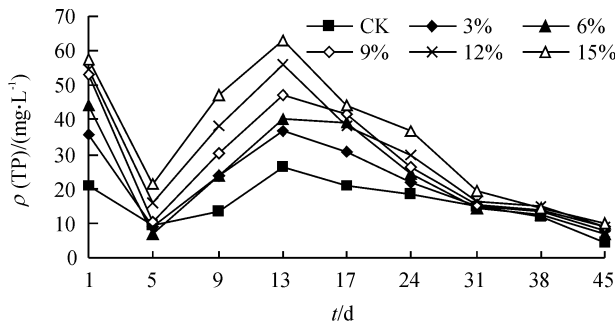


图5 厌氧消化过程中总P(TP)质量浓度的变化

Fig. 5 Variations of TP concentration during anaerobic digestion

2.5 添加蚯蚓粪对产气的影响

图6显示了餐厨垃圾厌氧消化过程中的日产沼气的变化情况.产气量与消化液的pH有密切的关系,开始时,产气量比较少,主要是由于餐厨垃圾水解酸化剧烈,导致pH急剧下降,从而抑制了产甲烷菌的活动,随着消化液pH的不断上升,各处理的产气量也不断增加,CK及3%、6%、9%、12%和15%处理分别第33、22、26、25、28和30天达到了产气最高峰,峰值分别为:815、845、870、890、875和

895 mL.

图7显示了餐厨垃圾厌氧消化过程中累积产气量的情况.如图7所示,在试验结束时,厌氧消化系统CK及3%、6%、9%、12%和15%处理的累计产气量分别为14700、16074、15702、16056、16414和16485 mL,各个处理的产气率分别达到466.35、504.84、488.02、494.03、499.67和496.69 mL·g⁻¹,其中,3%处理在前38d的累积产气量最高,之后其他处理也逐渐达到了产气高峰,从而使累积产气量迅速上升,在整个厌氧消化过程中,CK基本上都低于其他处理.可见,添加蚯蚓粪可以提高餐厨垃圾的产气率,使产气高峰期提前和高峰值增加,主要可能是因为蚯蚓粪中的微生物或酶的加入提高了厌氧微生物的活性,微生物繁殖速度加快,进而产气高峰提前,且高峰值增加^[16].李庆^[17]也曾研究添加灭菌和未灭菌的蚯蚓粪对猪粪与造纸污泥联合厌氧消化的影响,结果发现添加蚯蚓粪对猪粪与造纸污泥混合厌氧消化的产甲烷率有促进作用,而且,等量未灭菌与灭菌的蚯蚓粪添加量对比,产气率提高了10%.本研究中,3%处理产气高峰出现最早,产气率也是最高,从其他指标来看,3%处理的pH回升得最快,VFAs和SCOD下降得最快,可见,当蚯蚓粪的添加量为3%时,对餐厨垃圾的厌氧消化效果最佳.

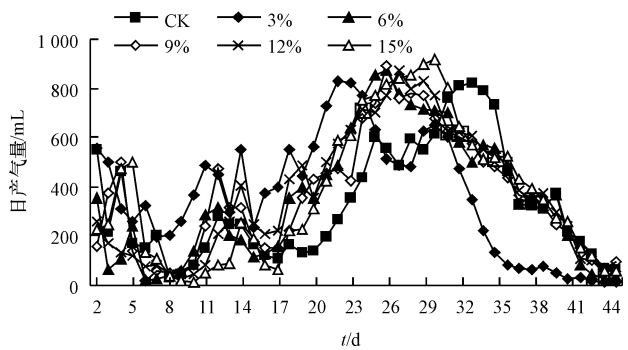


图6 厌氧消化过程中日产沼气的变化情况

Fig. 6 Variations of daily biogas yield during anaerobic digestion

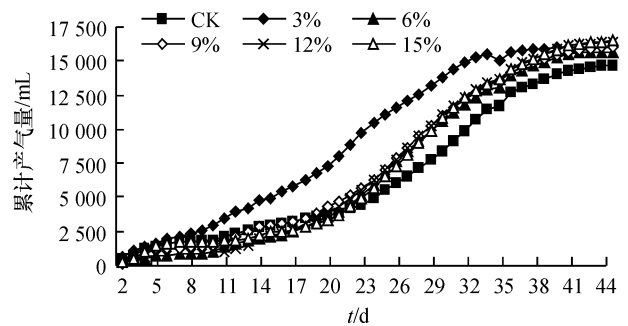


图7 厌氧消化过程积累产沼气的量

Fig. 7 The accumulative biogas yield during anaerobic digestion

3 结论

在整个厌氧消化过程中,添加蚯蚓粪后各处理消化液的 pH 略高于 CK,主要是由于蚯蚓粪呈中性偏碱所致;VFAs 浓度和 SCOD 基本呈现先上升后下降的趋势,添加蚯蚓粪后各处理开始时的 VFAs 浓度和 SCOD 明显高于 CK,随后它们的 VFAs 浓度和 SCOD 下降速率也比 CK 快,主要原因可能是蚯蚓粪中的微生物或酶的加入提高了厌氧微生物的活性,微生物繁殖速度增加,使更多的有机物水解溶出,也加快了对 VFAs 和 SCOD 的利用效率。

厌氧消化系统 3%、6%、9%、12% 和 15% 处理的产气率分别达到 504.84、488.02、494.03、499.67 和 496.69 mL·g⁻¹,与 CK(466.35 mL·g⁻¹)相比,添加蚯蚓粪后各处理的产气率都有一定程度的增加.可见,添加蚯蚓粪有助于抑制 VFAs 的累积,VFAs 和 SCOD 的降解速率提高使 pH 更稳定,为产沼气过程创造良好的条件,从而使产气量增加。

与其他处理相比,3% 的蚯蚓粪添加量餐厨垃圾经过水解酸化后 pH 回升得最快,VFAs 浓度和 SCOD 下降速率也最快,产气率也最高,达到 504.84 mL·g⁻¹,原因可能是蚯蚓粪含大量的有机质,当添加量大于 3% 时,有机质的水解酸化速率大于其对 pH 的缓冲能力,从而造成 VFAs 浓度与 SCOD 的增加和 pH 下降,同时也影响到产甲烷菌的活动能力。

可见,在整个厌氧消化过程中,添加蚯蚓粪对稳定 pH 和抑制酸化有一定的作用,为产甲烷过程创造了良好的条件,从而有助于提高厌氧消化的产气率,使产气高峰提前和产气峰值增加.添加蚯蚓粪并不是越多越好,3% 的蚯蚓粪添加量对餐厨垃圾厌氧消化效果最明显,添加量增加反而使 pH 有所下降,产气率减少。

参考文献:

[1] 侯华华,王伟,胡颂,等.城市生物质废物热水解-ASBR 厌氧消化研究[J].环境科学,2010,31(2):526-533.

[2] 吕凡,何晶晶,邵立明,等.pH 对易腐有机垃圾厌氧发酵产物分布的影响[J].环境科学,2006,27(5):991-997.

[3] DEARMAN B, BENTHAM R H. Anaerobic digestion of foodwaste: Comparing leachate exchange rates in sequential batch systems digesting food waste and biosolids[J]. Waste Management, 2007, 27(12):1792-1799.

[4] 王星,王德汉,马磊.膨润土的添加用量对餐厨垃圾厌氧消化过程的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(1):330-334.

[5] LEE K E. Earthworms: Their ecology and relationship with soils and land use[M]. Sydney: Academic Press, 1985.

[6] JOHANN G Z. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 12: 191-199.

[7] 张彦,杨世关,张百良.蚓粪对厌氧发酵影响的初步研究[J].中国沼气,2006,24(2):8-10.

[8] 刘慧,曹艳娟,邹星星,等.蚓粪促进玉米秸秆厌氧消化产气效果的研究[J].农业环境科学学报,2010,29(11):2228-2231.

[9] 陈泽堂.水污染控制工程实验[M].北京:化学工业出版社,2003:4.

[10] 贺延龄.废水的厌氧生物处理[M].北京:中国轻工业出版社,1998.

[11] RAGHIDA L, JUKKA R. Extreme thermophilic (70 °C), VFA-Fed UASB reactor: Performance, temperature response, load potential and comparison with 35 and 55 °C UASB reactors [J]. Water Research, 1999, 33(14):3162-3170.

[12] BJÖNSSON L, MURTO M, MATTIASSON B. Evaluation of parameters for monitoring an aerobic co-digestion process [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2000, 54(6):844-849.

[13] 熊鸿斌,刘文清,李鸿敬.钙法处理高浓度含磷废水[J].中国给水排水,2003,19(5):91-92.

[14] 席北斗.有机固体废弃物管理与资源化技术[J].北京:国防工业出版社,2006:273-281.

[15] 马磊,王德汉,谢锡龙,等.餐厨垃圾的高温厌氧消化处理研究[J].环境工程学报,2009,3(8):1509-1512.

[16] 陈广银,郑正,邹星星,等.蚓粪与玉米秸混合厌氧消化实验[J].环境科学,2010,31(2):520-525.

[17] 李庆.猪粪与造纸白泥联合厌氧消化特性研究[D].广州:华南农业大学,2011.

【责任编辑 周志红】