

文章编号:1000-582X(2009)11-1339-06

## HBH-II 用于化粪池粪便污泥减量的可行性试验

宋珍霞, 王里奥, 谷 伟, 黄 川, 陈大勇

(重庆大学 资源与环境科学学院, 重庆 400030)

**摘 要:**以化粪池粪便污泥为研究对象,采用中温(35 ℃)厌氧消化,比较不投加复合微生物制 HBH-II(CK)、直接投加 0.005% 的 HBH-II(T1 处理)和巴氏灭菌后投加 0.005% 的 HBH-II(T2 处理)3 种处理方式下粪便污泥总固体(TS)、挥发性固体(VS)和 COD 的减量效果,并对比了各处理粪便污泥消化前后的泥质特点和消化效率。结果表明:经过 21 d 的厌氧消化,T1 的 TS、VS 和 COD 的去除率分别为 46.03%、49.96% 和 47.06%,比 CK 分别高 14.89%、16.26% 和 15.53%,比 T2 的分别高 6.63%、8.02% 和 11.90%;且 T1 的与 CK 和 T2 的 TS、VS 和 COD 去除率间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。CK、T1 和 T2 的粪便污泥消化效率分别为:34.69%、51.09% 和 43.05%,且 T1 与 CK 和 T2 间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。上述结果表明,外源复合微生物制剂 HBH-II 与原粪便污泥体系中的土著微生物的共同作用更有利于化粪池粪便污泥的减量,直接投加复合微生物制剂 HBH-II 用于化粪池粪便污泥的减量是切实可行的。

**关键词:**HBH-II 复合微生物制剂;化粪池;厌氧消化;粪便污泥减量

中图分类号: X705

文献标志码: A

## Feasibility test of HBH-II compound microorganism on the reduction of septic tank nightsoil sludge

SONG Zhen-xia, WANG Li-ao, GU Wei, HUANG Chuan, CHEN Da-yong

(College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** The paper selects septic tank nightsoil sludge as the study object, and conducts three treatments for nightsoil sludge anaerobic digestion reduction under 35 ℃ including CK treatment (without HBH-II compound microorganism), T1 treatment (adding 0.005% HBH-II compound microorganism in the original nightsoil sludge system) and T2 treatment (adding 0.005% HBH-II compound microorganism after the nightsoil sludge was sterilized by pasteurism). It investigates the removal rate of total solid (TS), volatile solid (VS) and COD of the three treatments, and analyzes the main contents of nightsoil sludge before and after anaerobic digestion and the digestion efficiencies of them. The results indicate that the removal rates of TS, VS and COD of T1 are 46.03%, 49.96% and 47.06%, respectively, and there are 14.89%, 16.26% and 15.53% higher than CK, 6.63%, 8.02% and 11.90% higher than T2, respectively. There are significantly positive ( $p < 0.01$ ) relations between T1 and CK, and T1 and T2 in the removal rate of TS, VS and COD. The nightsoil sludge digestion efficiencies of CK, T1 and T2 are 34.69%, 51.09% and 43.05%, respectively and that of T1 significantly positive ( $p < 0.01$ ) differs from CK and T1 treatment.

收稿日期:2009-06-28

基金项目:重庆市市政委资助项目(市政科 2007-4)

作者简介:宋珍霞(1981-),女,重庆大学博士研究生,主要从事固体废弃物处理处置与资源化利用方向的研究。

王里奥(联系人),女,重庆大学教授,博士生导师,(Tel)023-65111477;(E-mail)wang65111477@yahoo.com.cn。

The results indicate that the corporate effect of the adding HBH-II compound microorganism and the original microorganism of the nightsoil sludge system are helpful to the reduction of septic tank nightsoil sludge and it is feasible for directly adding HBH-II compound microorganism to septic tank for the reduction of the nightsoil sludge in it.

**Key words:** HBH-II compound microorganism; septic tank; anaerobic digestion; nightsoil sludge reduction

由于中国污水管道和污水处理设施配套不完善,在相当长的一段过渡期内,化粪池作为生活污水预处理设施仍被广泛使用<sup>[1]</sup>。粪便污泥若不及时清掏,漫溢的粪水会造成严重的环境污染;粪皮逐渐积累形成板结堵塞导气管致使大量沼气在水体表面蓄积,极易引发爆炸;同时,化粪池有效容积因漂浮层板结而不断减少,水力停留时间缩短,出水水质变差。人工清掏费时、费力;粪便污泥填埋处理又会带来二次污染问题。因此,如何实现化粪池粪便污泥的原位减量已成为遏制化粪池环境污染、解决城市粪便污泥出路以及消除化粪池安全隐患等问题的当务之急。

目前,生物强化技术已经广泛运用于环境保护的许多方面,如畜禽粪便的无害化处理<sup>[2]</sup>、工业和生活污水处理<sup>[3-4]</sup>、污水处理厂污泥减量<sup>[5-8]</sup>、水体富营养化治理<sup>[9-10]</sup>等方面,并且取得良好成效;但其用粪便的厌氧消化减量的报道尚不多见。为了克服粪便污泥自身厌氧消化存在的消化速率慢、停留时间长、处理效率低的缺点,将生物强化技术应用用于化粪池粪便污泥的厌氧消化。考虑到化粪池粪便污泥本身含有大量的细菌、病毒和寄生虫等病原体<sup>[11]</sup>,而巴氏灭菌(60 °C 条件下灭菌 30 min)可杀死污泥中 97.3%~99.9%的病源微生物<sup>[12]</sup>;试验采用不投加、直接投加和巴氏灭菌后投加复合微生物粪便 HBH-II 3 种处理方式,考察各处理对粪便污泥厌氧消化 TS、VS 和 COD 的减量作用并同时比较各处理粪便污泥的厌氧消化效率;以期说明外源复合微生物制剂 HBH-II 与原粪便污泥体系中微生物在污泥减量化过程中的作用效果,探讨复合微生物制剂 HBH-II 用于化粪池粪便污泥减量

的可行性;从而为化粪池粪便污泥的源头减量、改善化粪池堵塞情况及改善化粪池周边环境提供技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 化粪池粪便污泥的采集

试验所用化粪池粪便污泥于 2008 年 5 月 4 日采集于重庆大学 A 区大门口右侧公厕化粪池。由于化粪池各层粪液成分不同,因此本研究拟采用分层多点方式采样。上层(漂浮层)样采集池内不同的 3~5 点液面下 0~20 cm 处的粪稀;中层(清水层)样采集池内不同的 3~5 点液面下 20~50 cm 处的粪稀混合样。用木棒将粪液搅拌均匀后用打浆机将粪液粉碎,使固体颗粒直径  $R \leq 0.1$  cm。

#### 1.1.2 复合微生物制剂的来源及活化

试验所用 HBH-II 复合微生物制剂,又称有机物快速分解复合微生物制剂,由鲲鹏环境工程有限公司提供。在试验前首先需要对复合微生物制剂 HBH-II 进行活化处理。一是可以迅速恢复复合微生物制剂原液中各菌种的活性和提高生物量,从而提高复合微生物制剂中活性微生物对污染物的降解能力;二是减少复合微生物制剂原液用量,有效降低成本。具体方法如下:

将复合微生物制剂 HBH-II 原液与 10%(质量比)的红糖溶液按 1:9 的体积比例进行充分混合,将此混合液装入适当体积的容器中,置于 30~35 °C 的恒温水浴器中进行恒温培养 1~2 d。经测定,活化后的 HBH-II 复合微生物制剂的基本特性如表 1 所示。

表 1 供试粪便污泥和 HBH-II 复合微生物制剂的基本特性

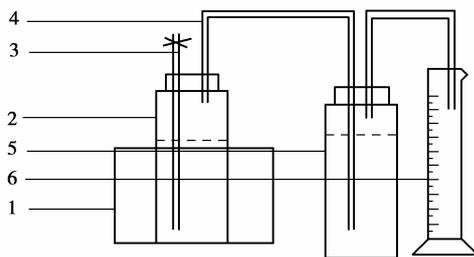
	pH	TS/%	VS/%	COD/(mg · L <sup>-1</sup> )	TN/(g · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/(mg · L <sup>-1</sup> )	TP/(g · L <sup>-1</sup> )
粪便污泥	7.06 ± 0.05	6.97 ± 0.21	4.42 ± 0.14	68 376 ± 2 232	2.23 ± 0.10	423.36 ± 8.60	0.60 ± 0.02
HBH-II	4.17 ± 0.08	—	—	17 138 ± 1 297	1.77 ± 0.01	915.45 ± 8.96	0.33 ± 0.06

## 1.2 试验方法

利用中温(35±45℃)厌氧消化比较不投加、巴氏灭菌后投加和直接投加复合微生物制剂 HBH-II(活化液)3种处理方式对粪便污泥的减量效果。以 2 L 带有橡胶塞的棕色广口瓶作为反应场所,反应器初始粪便污泥量为 1.5 L,每 12 h 摇动一次反应器。参照相关文献[8, 13],菌种的投加量设定为粪便污泥量的 0.005%(体积比)。试验设定反应周期为 21 d,每 3 d 取样一次分析 TS、VS 和 COD 3 个指标的变化情况。为了使取样更具代表性,采样前首先摇动发酵瓶使发酵物混合均匀。所有试验均安排 3 次平行试验,取其平均值作为试验结果,将 3 次平行试验结果标准偏差作为误差限。具体试验方案见表 2,试验装置见图 1。

表 2 复合微生物制剂 HBH-II 用于化粪池粪便污泥减量试验方案

处理	处理编号	温度/℃	HBH-II 投菌量
原粪便污泥(对照)	CK	35±0.5	0
直接投加 HBH-II	T1	35±0.5	0.005
巴氏灭菌后投加 HBH-II	T2	35±0.5	0.005



1. 恒温水浴装置;2. 反应瓶;3. 反应液取样口;  
4. 发酵气导管;5. 气体水封装置

图 1 化粪池粪便污泥厌氧消化工艺装置图

## 1.3 指标测定方法

TS 和 VS 采用重量法<sup>[14]</sup>。将粪便污泥稀释 100 倍后按照水质指标测定方法采用重铬酸盐法测定 COD<sup>[15]</sup>。

## 1.4 数据处理

利用 DPS 软件,在 1% 和 5% 水平下运用 LSD 法分析各处理与对照之间 TS、VS 和 COD 去除率的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对化粪池粪便污泥 TS 的减量效果比较

一个生物群落降解有机物的能力和其细菌的种类及稳定性有很大的关系。在一个稳定的生物群落中,细菌种类越多,能降解的有机物的种类就越多<sup>[16]</sup>。基于这一思想,选择投加复合微生物制剂的方法来提高化粪池粪便污泥厌氧消化对 TS 的减量。

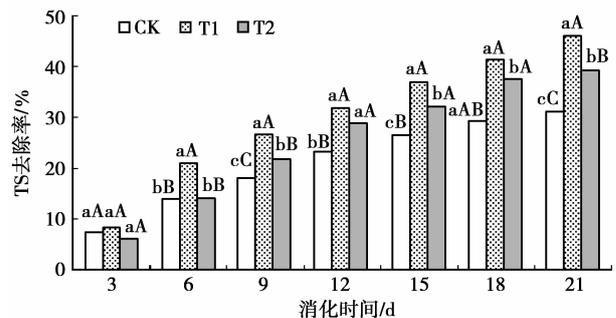


图 2 不同处理对化粪池粪便污泥 TS 的减量效果

不同处理化粪池粪便污泥 TS 的减量效果见图 2。从图 2 可以看出,厌氧消化初期(0~3 d),T2 的 TS 去除率为 6.34%,比 CK 和 T1 的分别低 1.11% 和 1.78,但各处理间的差异不显著。这主要是因为 T2 处理的粪便污泥在反应前经巴氏灭菌后 97.3%~99.9% 的微生物被杀死,而外源 HBH-II 复合微生物制剂适应新的无菌环境需要一定的时间。随着反应的推进,HBH-II 逐渐适应环境而活性逐渐增强,对有机物的分解也逐渐加速,T1 的 TS 去除率增加明显。在第 6~21 d,T1 的与 CK 的 TS 去除率的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ ),与 T2 的 TS 去除率间的差异也均达到显著水平( $p < 0.05$ )。至 21 d 反应结束,T1 的 TS 去除率达到 46.09%,分别比 CK 和 T2 的 14.89% 和 6.63%;且其与 CK 和 T2 的 TS 去除率间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。由此可见,外源复合微生物制剂 HBH-II 与原粪便污泥体系中的土著微生物的联合作用对化粪池粪便污泥 TS 的减量效果最好,HBH-II 复合微生物制剂的单独作用次之,而原粪便污泥体系中的微生物对化粪池粪便污泥 TS 的减量效果最差。

### 2.2 不同处理对化粪池粪便污泥 VS 的减量效果比较

厌氧消化的最主要目的就是生化降解有机物,使得处理基质达到稳定状态。通常基质中有有机物的

含量采用 VS 来表示。图 3 反映了不同处理对化粪池粪便污泥 VS 的减量效果随着时间的变化情况。由图 3 可知,在厌氧消化的前期(1~6 d),T2 的 VS 去除率均略低于 CK 的但两者间的差异不显著;而在厌氧消化的后期(12~21 d),其 VS 的去除率均显著高于 CK( $p < 0.05$ )。除第 18 d 外,在整个 21 d 反应时间内,T1 处理 VS 的去除率均极显著( $p < 0.01$ )高于 CK 和 T2 的分析认为是由于外源复合微生物制剂 HBH-II 具有较强的环境适应能力,能在短期内大量分裂繁殖并在水中分泌产生多种活性水解酶,可以将化粪池内的粪便等不溶解的有机物水解成溶解性有机物,将大分子有机物分解成为小分子物质,从而加速粪便污泥 VS 的减量。至 21 d 反应结束,T1 的 VS 去除率为 49.96%,分别比 CK 和 T2 的高 16.29% 和 8.02%。可见,外源 HBH-II 复合微生物制剂与原化粪池粪便污泥体系中的土著微生物的联合作用更有利于化粪池粪便污泥 VS 的减量。

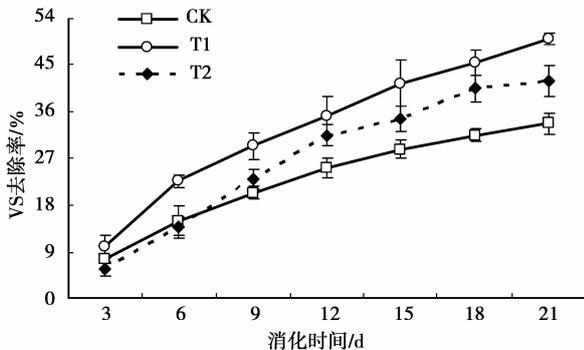


图 3 不同处理对化粪池粪便污泥 VS 的减量效果

### 2.3 不同处理对化粪池粪便污泥 COD 的减量效果比较

随着厌氧消化的进行,各处理化粪池粪便污泥 COD 的去除率变化过程如图 4 所示。图 4 表明,各处理 COD 去除率随发酵时间延长逐渐增加,这与厌氧发酵基本原理相吻合。在反映的前 6 d,COD 的去除率表现为:T1>CK>T2;在反映的 6~21 d 里,COD 的去除率表现为:T1>T2>CK。经过一段时间的厌氧消化,经灭菌预处理 T2 处理中的外源复合微生物制剂不断适应新环境并开始大量繁殖而促使其对粪便污泥中有机质的分解速度加快。至 21 d 反应结束,CK、T1 和 T2 的 COD 去除率分别为 31.53%、47.06% 和 35.16%,T1 的 COD 去除率明显高于 CK 和 T2 的,且其与 CK 和 T2 间 COD 去除率的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。可见,

HBH-II 复合微生物制剂与原化粪池粪便污泥体系中的微生物的联合作用对化粪池粪便污泥有机物的减量效果最好。

已有文献报道,光合细菌在腐败有机质含量高的环境中生长旺盛<sup>[17]</sup>,在厌氧光照条件下能利用多种有机物营光能异养生活<sup>[18]</sup>,能保证其具有较高的有机物分解能力<sup>[19]</sup>。T1 和 T2 的 TS、VS 和 COD 的去除率均显著高于 CK 的原因可能在于:T1 和 T2 处理投加的 HBH-II 中含有大量的光合细菌,它们能在无氧或微氧环境下,分解粪便污泥中的氮、烷、硝酸、硫化氢及其各种有机物。同时,光合细菌和其他菌群存在广泛的共生关系,能使整个污泥体系的微生物群落更加稳定<sup>[16]</sup>。

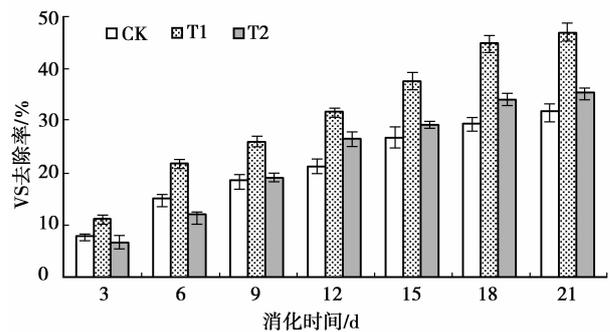


图 4 不同处理对化粪池粪便污泥 COD 的减量效果

### 2.4 不同处理化粪池粪便污泥消化前后泥质参数及消化效率对比

不同处理化粪池粪便污泥消化前后泥质参数变化情况如表 3 所示。从表 3 可以看出,T2 的粪便污泥初始 TS 和 VS 含量略低于 CK 和 T1 的,但与 CK 和 T1 间的差异不显著。T1 和 T2 的粪便污泥初始 COD 含量高于 CK,其中 T2 的粪便污泥初始 COD 含量与 CK 间的差异达到显著水平( $p < 0.05$ ),这主要是因为外源复合微生物制剂 HBH-II 本身极高的 COD 含量((17 138±1 297)mg/L)的缘故。可见,60 °C 高温灭菌 30 min 只会杀死原化粪池粪便污泥体系中的病原微生物而并未达到粪便污泥热解的温度从而不会破坏粪便污泥本身的结构。由此可以推测,各处理化粪池粪便污泥 TS、VS 和 COD 减量效果的差异主要是因为不同处理粪便污泥体系中微生物的数量和种类的不同所造成的。

通过测定实验组和对照组消化前后料液的 TS 和 VS,可以确定料液中有机物的降解程度,即粪便污泥的消化效率。污泥消化效率<sup>[20]</sup>计算式为

$$\eta = \{1 - (100 - \alpha) \times \beta / [(100 - \beta) \times \alpha]\} \times 100,$$

式中: $\eta$  为粪便污泥的消化效率(%); $\alpha$  为消化前粪

便污泥中有机物(VS)的含量(%); $\beta$ 为消化后粪便污泥中有机物(VS)的含量(%)。

根据上述公式计算可得 CK、T1 和 T2 的粪便污泥消化效率分别为:34.69%、51.09%和 43.05%;方

差分析及 LSD 法多重比较表明,T2 的粪便污泥消化效率与 CK 及 T1 间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。说明直接投加 HBH-II 复合微生物制剂有利于提高化粪池粪便污泥的厌氧消化效率。

表 3 粪便污泥厌氧消化前后的主要泥质参数对比

处理及编号	指标		
	TS/%	VS/%	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )
原粪便污泥(CK)	6.97 aA	4.42 aA	68 376 aA
消化前 直接投加 0.005% HBH-II (T1)	6.92 aA	4.40 aA	69 718 abA
巴氏灭菌后 2 h 投加 0.005% HBH-II (T2)	6.89 aA	4.39 aA	71 657 bA
原粪便污泥(CK)	4.80 aA	2.93 aA	46 816 aA
消化后 直接投加 0.005% HBH-II (T1)	3.73 cC	2.20 cC	36 910 bB
巴氏灭菌后 2 h 投加 0.005% HBH-II (T2)	4.19 bB	2.56 bB	46 465 aA

### 3 结 论

1) 经过 21 d 的厌氧消化,T1 的 TS、VS 和 COD 的去除率比 CK 分别高 14.89%、16.26% 和 15.53%,比 T2 的分别高 6.63%、8.02% 和 11.90%;且 T1 与 CK 及 T2 的 TS、VS 和 COD 的去除率间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。至 21 d 反应结束,CK、T1 和 T2 3 处理粪便污泥消化效率分别为:34.69%、51.09%和 43.05%,且 T2 的粪便污泥消化效率与 CK 及 T1 间的差异均达到极显著水平( $p < 0.01$ )。说明外源 HBH-II 复合微生物制剂与原粪便污泥体系中的土著微生物的联合作用对化粪池粪便污泥 TS、VS 和 COD 的减量效果最好,HBH-II 复合微生物制剂的单独作用次之,而原粪便污泥体系中的微生物对化粪池粪便污泥 TS、VS 和 COD 的减量效果最差。

2) 厌氧消化前 T2 的粪便污泥初始 TS 和 VS 含量与 CK 和 T1 间无显著性差异;其初始 COD 含量显著高于 CK 也主要是因为复合微生物制剂本身高的 COD 含量((17 138 ± 1 297) mg/L)的缘故。因此,60 °C 高温灭菌 30 min 只会杀死原粪便污泥体系中的病原微生物而并未达到粪便污泥热解的温度从而不会破坏粪便污泥本身的结构;上述各处理化粪池粪便污泥 TS、VS 和 COD 减量效果的差异主要是因为不同处理粪便污泥体系中微生物的数量和种类的不同所造成的。

### 参考文献:

- [1] 王士芬,夏群.城市粪便处理技术及方法[J].环境卫生工程,2000,8(1):14-16.  
WANG SHI-FEN, XIA QUN. Technology and means of urban night soil treatment [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2000,8(1):14-16.
- [2] LIU K, TANG Y Q, MATSUI T, et al. Hemophilic anaerobic co-digestion of garbage, screened swine and dairy cattle manure [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2009,107(1):54-60
- [3] KHALIDA A, ARSADB M, CROWLEY D E. Biodegradation potential of pure and mixed bacterial cultures for removal of 4-nitroaniline from textile dye wastewater [J]. Water Research, 2009, 43 (4): 1110-1116.
- [4] LI T G, LIU J X, BAI R B, et al. Biodegradation of organonitriles by adapted activated sludge consortium with acetonitrile-degrading microorganisms [J]. Water Research, 2007,41(12):3465-3473.
- [5] LIANG P, HUANG X, QIAN Y. Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aeolosoma hemprichi* [J]. Biochemical Engineering Journal, 2006,28(2):117-122
- [6] PAUL E, DEBELLEFONTAINE H. Reduction of excess sludge produced biological treatment processes: effect of ozonation on biomass and on sludge [J]. Science and Engineering, 2007,29(6):415-427.
- [7] 王敏,王里奥,包亮,等.多功能微生物制剂用于污泥

- 减量的研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(7):16-19.
- WANG MIN, WANG LI-AO, BAO LIANG, et al. Study on application of multifunctional compound microorganism product for sludge reduction[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(7):16-19.
- [8] 张陇利, 刘青, 徐智, 等. 复合微生物菌剂对污泥堆肥的作用效果研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 266-269.
- ZHANG LONG-LI, LIU QING, XU ZHI, et al. Research on effect of compound microbial inoculant on sewage sludge composting [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(2):266-269.
- [9] MACHNICKA A. Filamentous microorganisms in phosphorus removal from wastewater[J]. Environment Protection Engineering, 2005, 31(1):13-21.
- [10] 袁冬海, 席北斗, 魏自民, 等. 微生物-水生生物强化系统模拟处理富营养化水体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1):19-23.
- YUAN DONG HAI, XI BEI-DOU, WEI ZI-MIN, et al. Disposal of eutrophication water by the microorganisms-aquatic plants strengthened purification system in pre-dem[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(1):19-23.
- [11] SAHLSTROM L. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants [J]. Bioresource Technology, 2003, 87(2):161-166.
- [12] ZIBILSKE L M, CLAPHAM W M, ROURKE R V. Multiple applications of paper mill sludge in an agricultural system: soil effects [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(6):1975-1981.
- [13] 李俊, 朱臻, 朱国政, 等. 利用 MCMP 微生物制剂减少剩余污泥产量的研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(12): 92-95.
- LI JUN, ZHU ZHEN, ZHU GUO ZHENG, et al. Study on reducing of excess sludge production by MCMP inoculation [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(12):92-95.
- [14] 马溪平. 厌氧微生物学与污水处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [16] 李捍东, 王强, 田禹, 等. 投菌法处理高浓度焦化废水的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(10): 1801-1805.
- LI HAN-DON, WANG QIANG, TIAN YU, et al. Study of high concentrate coking wastewater treatment by culture adding method [J]. Journal of Harbin institute of technology, 2006, 38(10):1801-1805.
- [17] BELOKOPYTOV B F, LAURINAVICHUSA K S, LAURINAVICHENE T V, et al. Towards the integration of dark-and photo-fermentative waste treatment [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34(8):3324-3332.
- [18] 王绍校, 杨惠芳, 黄志勇, 等. 嗜盐光合细菌的分离鉴定及其营养成分分析 [J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(3): 298-301.
- WANG SHAOXIAO, YANG HUI-FANG, HUANG ZHI-YONG, et al. Isolation and identification of marine photosynthesis bacteria and analysis of their nutritional compositions[J]. Chinese Journal of Applied and Environment Biology, 2003, 9(3): 298-301.
- [19] LEE K S, LO Y C, LIN P J, et al. Improving biohydrogen production in a carrier-induced granular sludge bed by altering physical configuration and agitation pattern of the bioreactor[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2006, 31(12):1648-1657.
- [20] 戴前进, 李艺, 方先金. 城市污水处理厂剩余污泥厌氧消化试验研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(23):95-98.
- DAI QIAN-JIN, LI YI, FANG XIAN-JIN. Study on anaerobic digestion of excess activated sludge from municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(23):95-98.

(编辑 赵 静)