第 17 卷 第 6 期　　环　境　科　学　　Vol. 17, No. 6
1996 年 12 月　　ENVIRONMENTAL SCIENCE　　Dec., 1996

水葫芦强化预处理-两相厌氧生物处置工艺研究*

周岳溪　孔　欣　傅　强　郝丽芳　高维寅

（中国环境科学研究院，北京 100012）

摘要　水葫芦强化预处理后再进行两相厌氧生物处理，其平均产气量可达 134 L/kg 鲜水葫芦，较之单纯两相厌氧处理，产气量提高 40%；气体中甲烷含量为 75.1%左右；系统出水 COD_{Cr} 320 mg/L 左右，SS 在 40 mg/L 左右. 在系统稳定运行过程中，产酸相处于酸化状态.

关键词　水葫芦，预处理，两相厌氧工艺.

水葫芦在污水处理中具有一定的应用价值[1]，但水葫芦的疯长控制是国内外普遍重视的环境问题. 其中生物制能是一项应用潜力很大的实用技术. 国内目前应用较多的是传统单相厌氧处置工艺，但实际应用中存在着沼气产率低、反应器易结壳等缺点. 而两相厌氧处置工艺用于水葫芦的处置可以克服这些问题，同时可为沼渣利用提供新途径[2-4]. 另外据报道，经过一定的强化预处理，改善水葫芦的生物降解性，可以提高产气率[5-6]. 本文将对水葫芦预处理前后的两相厌氧制能工艺进行比较，从工艺运行和微生物学机理等角度出发，系统地比较、分析其差异，为实际应用提供可靠依据.

1　试验装置与工艺流程

1.1　试验装置

稀酸预处理装置为温度自动调节（50—300℃）并带有搅拌装置的特制电炉，有效容积 2L.

试验用两相厌氧装置为固体产酸相反应器和上流式折板生物膜产甲烷反应器，两反应器均由 Φ200 nm 有机玻璃管加工制成. 总容积为 10L，最大有效容积为 8.5L，其结构如图 1、2 所示.

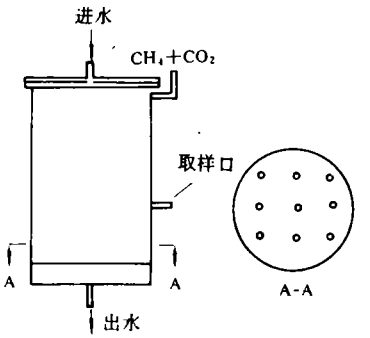

图 1　产酸相厌氧反应器结构示意图

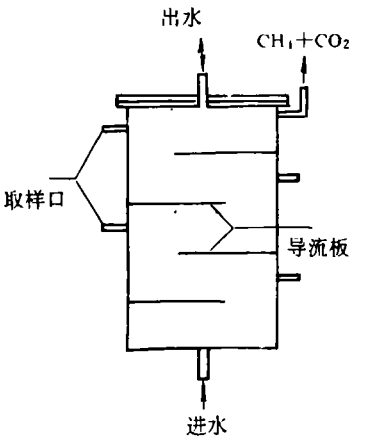

图 2　产甲烷相厌氧反应器结构示意图

* 国家"八五"科技攻关项目
收稿日期：1996-02-13

1.2 工艺流程

工艺流程如图 3.

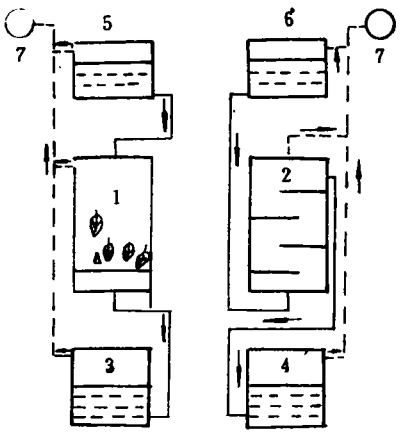

图 3 试验工艺流程

——水路 ----气路

1. 固体产酸相厌氧反应器 2. 产甲烷相厌氧反应器

3.5. 产酸相高、低位水槽 4.6. 产甲烷相低、高位水槽

7. 湿式流量计

首先采收定量水葫芦，置于已装有定容稀硫酸(1%)溶液的预处理反应器中，盖严搅拌. 通电升温，使水葫芦与稀酸反应 10 min，处理后水葫芦作为两相厌氧处置工艺的固体产酸相进料.

将两个厌氧反应器分别置于恒温水槽内，温度为 35±1℃. 每天先将低位槽 3 的水提升至高位槽 5，然后以水力负荷 88L/m^2 使高位槽 5 中的水冲洗固体产酸相厌氧反应器内的水葫芦，历时 2 h，冲洗液渗过被酵解的水葫芦床，迅速汇至该反应器的低位槽 3 中. 其余 22 h，固体产酸相厌氧反应器内的水葫芦处于固体发酵状态. 产甲烷相厌氧反应器以固体产酸相厌氧反应器的冲洗渗出液为进液，抽至高位槽 6，按 0.25L/h 水量连续进入产甲烷相反应器，其出水流至低位槽 4，同时该槽也作高位水槽的补充水.

各反应器中产生的气体均分别由管道从反应器顶部引出，进入湿式流量计后排入室外空气中.

1.3 试验用水葫芦

本试验所用水葫芦取自北京植物园净化塘.

2 分析项目

2.1 化学分析项目

化学分析项目主要有 COD_{Cr}、碱度、pH、SS、VSS、气体组分、脂肪酸及厌氧污泥活性.

2.2 微生物分析

培养基的配制和接种均采用 Hungate 厌氧操作技术[7]. 本试验所用培养基主要包括发酵性细菌、丙酸分解菌、丁酸分解菌、乙酸裂解产甲烷菌及甲酸/H_2+CO_2 产甲烷菌培养基，其具体配制方法详见文献[8].

待测污泥样品经破碎分散(目的是使细菌呈悬浮分散状态)后，采用三管最大可能数法测定样品中的细菌含量[9].

3 接种污泥性状及反应器接种

3.1 接种污泥性状

用北京苇沟猪场猪粪常规厌氧消化池污泥作为接种污泥，其基本性状为：SS=15.8 g/L，VSS/SS=0.04，$U_{max \cdot CH_4}$=0.39 mmol/(gVSS·h)，$U_{max \cdot COD}$=0.03 gCOD/(gVSS·h).

北京苇沟猪场消化污泥中含有较多的有机颗粒. 沉降试验表明，污泥中颗粒性物质沉淀快速，但也有相当一部分絮凝污泥沉降很慢，在 100 ml 量筒中可以观察到比较明显的 2 个沉降界面. 该污泥活性较高，VSS/SS 比值表明污泥有机物含量相对较低，污泥中细菌比较丰富，其中包括球菌、杆菌和丝菌.

3.2 反应器接种

在两相厌氧反应器中分别投加 1.5 L 上述污泥接种，其中产酸相内接种污泥与 150 g(湿重)水葫芦混合.

4 试验结果与讨论

4.1 试验基本情况

(1) 启动期(65 d) 目的为在水葫芦两相厌氧发酵过程中将产酸相接种污泥中，产甲烷菌大部分淘汰，促使产酸菌大量增殖而成为优势菌群，同时促使接种污泥中的产甲烷菌于产甲烷相中迅速增殖成为优势菌群.

试验中为了提高微生物的富集生长速率，启动开始阶段，产酸相反应器中投加人工葡萄糖配水，每日配水一次，COD_{Cr} 为 1500—3800 mg/L.

碱度对厌氧反应器的稳定运行极其重要，试验中用碳酸钠调节进水碱度.

为保证厌氧微生物正常生长的营养要求，进水中按比例投加 KH_2PO_4 和尿素.

，到第 50 d 至第 65 d，系统运行逐渐稳定，产甲烷相出水 COD 降至 180 mg/L 左右，产气率渐趋稳定，启动阶段完成.

（2）稳定运行阶段　水葫芦两相厌氧处置工艺稳定运行期 67 d，水葫芦稀酸预处理-两相厌氧处置工艺稳定运行期 54 d. 2 种工艺稳定运行工况见表 1.

4.2　试验结果与讨论

表 1　2 种工艺的运行工况

工艺名称	运　行　工　况
水葫芦两相厌氧处置	水葫芦投加方式：直接投加；投加频率：1 次/星期；投加量：120 g/次 工艺运行时间：67 d；停留时间：25—30 d　产气情况：产气总量 104 L；平均产气量 0.096 L/g；气体中甲烷含量 73.6%—83.4% 系统排水：排水量与水葫芦的产水量相当，每星期排 1 次水，出水 COD_{Cr}<200 mg/L；SS 在 40 mg/L 左右
水葫芦稀酸预处理-两相厌氧处置	预处理条件：1%硫酸，加热 10 min；投加方式：先预处理再投加；投加频率：1 次/星期投加量：120 g/次 工艺运行时间：54 d；停留时间：25—30 d；产气情况：产气总量 215 L；平均产气量 0.134 L/g；气体中甲烷含量 75.1%左右 系统排水：排水量与水葫芦的产水量相当，每星期排 1 次水，出水 COD_{Cr}<320 mg/L；SS 在 40 mg/L 左右

（1）预处理后水葫芦浸出液可生化性测定　为了考察预处理后水葫芦浸出液的可生化性，试验中分别测定了其 COD 与 BOD 值（表 2）. 从表 2 中看出，该浸出液属高浓度有机废水，其可生化性很好.

表 2　预处理后水葫芦浸出液可生化性测试结果

	$COD_{Cr}/mg \cdot L^{-1}$	$BOD_5/mg \cdot L^{-1}$	BOD_5/COD_{Cr}
1	3289.44	2370.0	0.72
2	3567.12	2451.0	0.69

（2）两种工艺运行结果比较　水葫芦两相厌氧处理、水葫芦稀酸预处理-两相厌氧处理 2 种工艺的产气量随工艺运行时间的变化情况如图 4、图 5 所示.

从图 4、5 中可以看出，预处理后水葫芦两相厌氧处理的产气量较水葫芦直接两相厌氧处理后明显增加，其平均产气量（水葫芦为基准）为水葫芦直接两相厌氧处理时的 1.4 倍. 这说明经过预处理后，水葫芦中部分难以生物降解的组分其生化性得到改善，导致产气量明显增加.

（3）2 种工艺运行机理　试验过程中对 2 种工艺产酸相出水的脂肪酸含量进行了测试（如图 6）. 结果表明，水葫芦直接两相厌氧处理工艺稳定运行过程中，产酸相的酸化类型属混合酸型，而水葫芦预处理-两相厌氧处理工艺运行过程中，固体产酸相酸化类型属乙酸型.

试验过程中分别对 2 种工艺各反应器中的微生物相的组成和数量进行了考察，结果见表 3.

从表 3 中可以看出，2 种工艺产酸相污泥中

表3 各系统部分微生物的分布/个·ml⁻¹

系 统	运行时间/d	产酸相	产甲烷相		
		发酵性菌群×10⁹	丙酸分解菌×10⁷	丁酸分解菌×10⁷	产甲烷相菌×10⁸
水葫芦两相厌氧处置	第82	1.2	6.3	6.5	2.3
	第120	4.3	5.6	5.6	5.0
水葫芦预处理-两相厌氧处置	第144	2.0	7.0	7.5	4.2
	第185	3.1	8.5	1.2	5.6

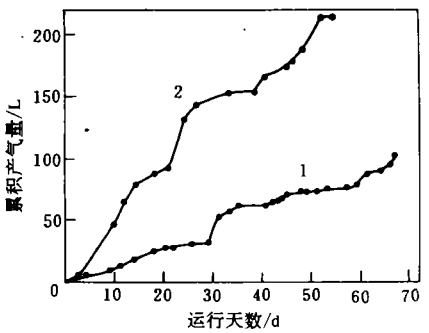

图4 2种工艺累积产气量随运行时间的变化关系
1. 水葫芦 2. 预处理后水葫芦

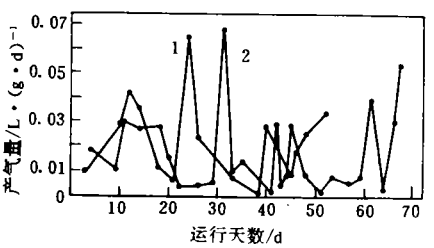

图5 2种工艺产气率(相对水葫芦)随运行时间的变化关系
1. 水葫芦 2. 预处理后水葫芦

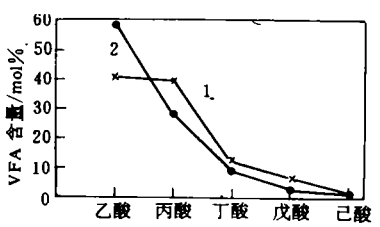

图6 2种工艺产酸相出水脂肪酸平均含量比较
1. 水葫芦 2. 预处理后水葫芦

的发酵性菌群含量相对稳定；产甲烷相中除产甲烷菌外，均含有相当数量的脂肪酸分解菌. 水葫芦预处理-两相厌氧处置工艺中的产甲烷菌数量稍高于水葫芦两相厌氧处置工艺中的产甲烷菌数量，同样脂肪酸分解菌的数量也稍高.

5 结论

(1) 水葫芦稀酸预处理-两相厌氧处置工艺可以稳定进行水葫芦的处置. 其平均产气量为134 L/kg鲜水葫芦，水葫芦两相厌氧处置平均产气量为96 L/kg鲜水葫芦，2种工艺出水水质(COD、SS)接近或达到国家排放标准.

(2) 水葫芦稀酸预处理-两相厌氧处置工艺稳定运行过程中，固体产酸相酸化类型属乙酸型；水葫芦两相厌氧处理工艺稳定运行过程中，固体产酸相酸化类型属混合酸型.

(3) 微生物相测试结果表明，两相厌氧反应器中微生物相组成相对稳定，菌量呈增加趋势.

参 考 文 献

1 席素芬，吴清才. 昆明环境，1991，(2)：12
2 Chanakya H N et al.. Bioresource Technology，1992，**42**：123
3 Chanakya H N et al.. Biomass and Bioenergy，1993，**5**：359
4 Chanakya H N et al.. Bioresource Technology，1993，**46**：227
5 Gusakov A V et al.. Applied Biochemistry and Biotechnology，1992，(34/35)：625
6 Malster I A et al.. Ind. Eng. Chem. Res.，1992，**31**：1998
7 Hungate R E et al.. Method in Microbiol.，1969，**38**：117
8 钱泽澍，闵 航. 沼气发酵微生物学. 杭州：浙江科技出版社，1986
9 吴唯民，赵一章. 微生物学通报，1987，**14**(5)：228

HUANJING KEXUE

Abstracts

Environmental Science Vol. ,17 No. 6, 1996

Isolation of Bacteria for Degradation Benzene Homologue under Aerobic Condition. Lu Jun, Wang Jusi et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(6), 1996, pp. 1—4

In order to sift for bacteria of degrading benzene homologue compounds, 25 strains degrading toluene, ethylbenzene, o-, m- and p-xylene and trimethylbenzene were isolated by selective enrichment from activated sludges of petrochemical and municipal wastewater treatment plants. The strain species are able to degrade the benzene homologue compounds as the sole source of carbon and energy. The results indicated that most of the 25 strains have strong capability of biodegra ding benzene homologue compounds under aerobic condition.

Key words: benzene homologue compounds, aerobic degradation, bacteria, isolation.

Analysis of Economic Loss from Ecological Deterioration in Typical Ecological Regions and Division Districts of China. Wang Junsan and Cai Xinde (South China Institute of Environmental Sciences, NEPA, Guangzhou 510655): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(6), 1996. pp. 5—8

In Order to find out that the expressing situation of various ecological environmental deterioration during the process of economic development at present in China and assessing comprehensively the ecological environmental impact which was made by mankind activities, the method of quantitative and semi-quantitative conversion was applied. The economic loss from ecological deterioration of including Guangdong, Hainan etc. 11 provinces and regions was analyzed and evaluated. Based on the analytic results, the interrelation model and the diagnosis model about economic loss of 11 provinces and regions have been established. The interrelation modle and parameters of assessing economic loss can be applied in the similar conditions of ecological environmental and economic development intensity. The economic loss of some regions can be evaluated useing the diagnosis modle and the amount of various ecological deterioration. The division districts of ecological deterioration of whole country have been made. The basic situation of various districts of ecological deterioration and the distributional characteristics which include the serious deterioration areas and the intensity deterioration areas have been summed up. The proportion of various ecological deterioration areas to national land areas have been calculated.

Key words: ecological deterioration, economic loss, region districts, interrelation modle, diagnosis modle.

Study on Kinetics of Biofilm Suspension Reactor. Zhou Ping and Qian Yi (Dept. of Environ. Eng. Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17** (6), 1996, pp. 9—12

Study on the liquid circulation velocity, organic matter degradation kinetics and biofilm detachment rate in airlift biofilm suspension reactor was conducted. The results showed that the inner circulation velocity is proportional to the reactor height and the 0.5 power of the superficial gas velocity in the riser. The reactor can be treated as CSTR when inner circulation flux is high. The biofilm detachment rate is proportional to the first power of superficial gas velocity in riser and the biofilm thickness and the 2/3 power of carrier quantity in reactor, respectively.

Key words: airlift biofilm suspension reactor, inner circulation velocity, organic matter degradation kinetics, dimensional analysis, biofilm detachment rate.

Two-Phase Anaerobic Digestion of Water Hyacinth Pretreated with Dilute Sulphuric Acid. Zhou Yuexi et al. (Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing, 100012): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17** (6), 1996, pp. 13—16

In this paper, diphase fermentation of water hyacinth pretreated with dilute sulphuric acid was studied. Experimental results demonstrated that specific biogas yield of 134 litre per kilogram fresh water hyacinth was obtained with methane content of biogas about 75.1%. Effluent CODcr, SS were less than 320 mg/L, 40 mg/L respectively. And microbiological mechanism was also studied.

Key words: water hyacinth, pretreat, two-phase, anaerobic.

Study on Biodegradation of Nonionic Surfactant by Bacteria. Lin Li and Huifeng Yang (Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080), Xia Xinghui and Xu Jialin (Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(6), 1996, pp. 17—20

Two strains isolated from soil contaminated by petroleum chemicals, *Pseudomonos* sp. strain 52 and *Weeksella* sp. strain 6 could utilize nonionic surfactants (AEO-9 and SA-20) as sole source of carbon for growth. The experiment results showed that the optimum source of nitrogen was ammonium acetate, the optimum pH and temperature for the degradation were 7.0 and 30℃. It was found that addition of glucose enhanced biodegradation of AEO-9. With the initial concentration of 5 000 mg/L the growth cells of the two strains had an AEO-9 removal efficiency of 85% and 95% within 2 weeks or 4 weeks, respectively. The biodegradation rate of AEO-9, in the same initial concentration, by resting cells of strain 52 was 60% within 6.5 hours under the optimum degradation condition in which pH, temperature and cell density (wet weight/volume) was 7.0、30℃ and 20%, respectively.

Key words: *Pseudomonos* sp. 52, *Weeksella* sp. 6, nonionic surfactant, biodegradation.

The Influence of Extra Gases in Degradation of CF_2ClBr