

二相UASB工艺微生物生态学的研究

竺建荣 胡纪萃 顾夏声

(清华大学环境工程系, 北京)

摘要 采用 Hungate 严格厌氧操作技术, 以人工葡萄糖配水为基质, 对二相 UASB 工艺的微生物生态学特性进行了初步研究。产酸相中, 发酵细菌占优势, 达 10^7 个/ml, 比产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌高 2~3 个数量级。产甲烷相中, 发酵细菌, 产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌含量相差不大 (约 10^8 个/ml), 因此, 产甲烷相的建立依赖于三大类微生物类群的良好代谢平衡。与对照的单相 UASB 反应器相比, 二相 UASB 工艺的产甲烷相反反应器产氢产乙酸细菌量较高, 发酵细菌量较低, 产甲烷细菌量则非常接近。这种细菌生态分布的差异, 可能是导致反应器运行稳定性不同的原因之一。

关键词 二相工艺 微生物生态 UASB 反应器

二相 UASB 工艺是一种新型的厌氧消化技术 [1~3]。它的成功运行依赖于相的分离和颗粒污泥的培养。相分离的概念是从微生物学角度提出来的 [4]。由于发酵细菌与产甲烷细菌在形态、生理生化特性和环境生长条件等方面存在着很大差异, 所以, 如能在不同的反应器中分离和培养优势发酵细菌和产甲烷细菌, 将有助于发挥微生物的各自作用, 改善整个厌氧消化系统的处理效能, 缩短停留时间, 提高运行稳定性, 加强运行控制水平。迄今为止, 试验工作大多侧重于二相厌氧消化工艺方面的研究 [5, 6], 而从微生物学角度的研究较少。另外, 有人从微生物学角度提出 [7], 厌氧消化分成不同的阶段不一定有益, 理由是相分离改变了有机酸代谢的平衡稳定性和连续性。Lettinga 等人也报道 [8], 对于 UASB 反应器而言, 处理一般高浓度有机废水时没有必要采用二相厌氧消化系统。因此, 开展二相 UASB 工艺微生物学特性的研究, 已是探讨二相 UASB 工

艺运行性能的一个重要方面。本文报道了以人工葡萄糖配水为基质, 采用 Hungate 严格厌氧操作技术, 研究二相 UASB 工艺微生物生态学特性的初步试验结果。

材料和方法

试验装置如图 1 所示。产酸相和产甲烷相均为 UASB 反应器, 容积分别为 2.45 L 和 3.50 L, 有效容积分别为 2.28 L 和 3.30 L。试验计算负荷时, 均以有效容积所承受的进水 COD 表示。作为试验对照的单相 UASB 反应器结构与产甲烷相反反应器相同。试验基质为工业葡萄糖配制的人工合成废水, COD 浓度 1000~9000 mg/L, C:N:P=150:5:1。

试验常规分析项目 (包括 COD, pH, 碱度, SS, VSS 等) 均采用标准方法测定 [9]。气体组分采用气相色谱仪以热导池检测器测定, 有机酸采用气相色谱仪以氢火焰离子检测器测定。

本研究得到国家自然科学基金资助, 特此致谢。

本文收稿日期: 1991-05-18, 修回: 1991-09-03

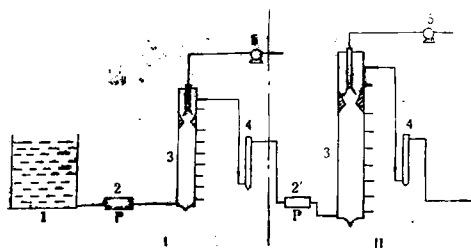


图1 试验装置示意图

1. 配水槽 2. 柱塞泵 3. UASB反应器
4. 水封管 5. 气体流量计
I—产酸相 II—产甲烷相

微生物的培养采用Hungate严格厌氧操作技术。细菌的计数采用三管最大可能数(MPN)法,并以发酵细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌等作为微生物生态的研究指标。污泥取样后,首先经Warning捣碎机慢速档粉碎45秒,如此制备得到均匀细小的菌体悬浮液,然后进行系列梯度稀释并接种培养。发酵细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌分别培养一周、三周和四周后,观察生长结果,同时以 H_2/CO_2 、 H_2 和有机酸、 CH_4 的测定分别作为三类细菌的辅助生长指标,最后计算结果。各类细菌的计数培养基组分如下[10]。

发酵细菌:

葡萄糖10g,蛋白胨5g,牛肉膏3g,NaC 3g,半胱氨酸0.5g,刃天青0.002g,蒸馏水1000ml, pH7.2~7.4。

产氢气乙酸细菌:

CH_3CH_2COONa 30mmoles, $CH_3CH_2-CH_2COONa$ 30mmoles, $CH_3CHOHCOONa$ 30mmoles, 酵母膏2g, $MgCl_2$ 0.1g, NH_4Cl 1g, K_2HPO_4 0.4g, 刃天青0.002g, 蒸馏水1000ml, pH7.0~7.3。

产甲烷细菌:

$HCOONa$ 5g, CH_3COONa 5g, CH_3OH 5g, NH_4Cl 1g, $MgCl_2$ 0.1g, K_2HPO_4

0.002g, 蒸馏水1000ml, pH7.2~7.4, $H_2:CO_2=80:20$ (v/v)。

结果与讨论

一、低负荷运行状态的微生物生态分布

为了讨论问题的方便,二相UASB工艺的运行试验分为低负荷运行和高负荷运行二种状态。负荷的划分以产甲烷相反反应器的容积负荷为标准。小于 $10kgCOD/m^3 \cdot d$ 的运行定为低负荷运行状态。它主要包含反应器的启动阶段和颗粒污泥培养阶段。其微生物生态分布见图2。

从图2可以看出,产酸相中发酵细菌的生长占优势,细菌含量为 $1.5 \times 10^8 \sim 3.0 \times 10^9$ 个/ml。也就是说,有机物的厌氧降解以发酵细菌的代谢反应为主。与产甲烷细菌相比,发酵细菌的含量高出3~4个数量级。这种细菌含量上的悬殊差异导致有机物厌氧降解的不平衡。发酵细菌产生的有机酸,不能被产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌有效地转化,以中间代谢产物的方式出现,从而显示出产酸相反反应器的特征。由此表明,根据微

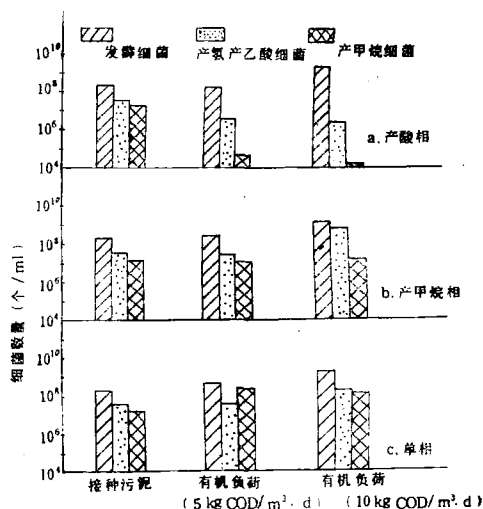


图2 低负荷下微生物的生态分布

生物生长速率的不同,可以应用动力学控制方法即控制水力停留时间实现相的分离^[10]。

从图2还可以看出,产甲烷相中发酵细菌的含量与产酸相接近,差异主要是产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌。虽然发酵细菌含量较高,但产甲烷细菌量也很高(约 $1.5 \times 10^7 \sim 9.3 \times 10^8$ 个/ml)。由此表明,产甲烷相的建立依赖于各类细菌间的良好代谢平衡。单相UASB反应器的微生物生态分布与产甲烷相类似。二相厌氧消化工艺中,产酸相和产甲烷相的分开只是提供细菌的各自最适生长条件,强化细菌的代谢反应,更好地发挥微生物的作用并保持有机物分解链的协调平衡,而三大类微生物并未被绝然分开。这一结果与张录等人的报道是一致的^[11]。

二、高负荷运行状态的微生物生态分布

当产甲烷相容积负荷从 $10 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ 逐渐提高到 $30 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ 时,试验处于高负荷运行状态。此时呈现为颗粒污泥的成熟和增长阶段,反应器负荷提高。成熟的颗粒污泥不仅直径增长,一般为 $2 \sim 3 \text{ mm}$,而且污泥量也急剧增加。其微生物生态分布见图3。

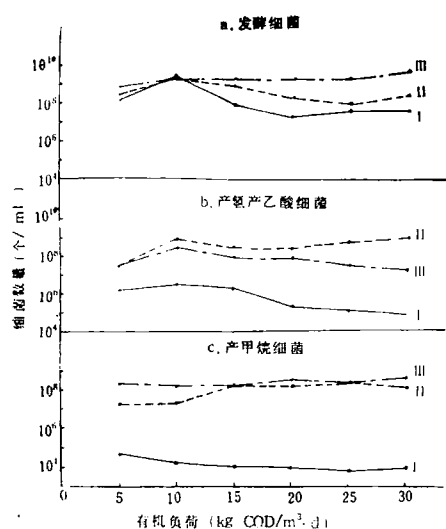


图3 各类细菌与运行负荷的关系

I—产酸相 II—产甲烷相 III—单相

从图3 a可以看出,高负荷运行状态时产酸相的发酵细菌含量有所下降,约为 10^7 个/ml。与此相适应,产甲烷相中发酵细菌量也稍有下降(约 10^8 个/ml),而单相UASB反应器仍维持较高的含量不变(约 10^9 个/ml)。产酸相中发酵细菌的下降是因为负荷较高时产气量增加,而水力停留时间又短(约2h),因此初始的接种污泥先转化为絮体状,最后解体并呈悬浮生长状态,污泥浓度从约 40 g VSS/L 下降到 $5 \sim 6 \text{ g VSS/L}$,从而导致细菌含量也随之下降。

图3b表明,高负荷运行状态时产甲烷相的产氢产乙酸细菌量较高,但单相UASB反应器却有所下降。这一情况正好与发酵细菌的变化相反。二个反应器在微生物生态分布所体现的这些差异可能是影响反应器运行性能的基础。根据二相UASB工艺的运行试验^[12],产甲烷相反应器比单相UASB反应器的稳定性要好,但二者的处理能力及处理效率相差不大。产甲烷相运行稳定性的提高,从机理方面来说是颗粒污泥微生物生态分布的不同,从工艺方面来说是实行相分离的结果。这两方面实际上是互相关联的。基质的组分最终决定和影响微生物的生长繁殖。经过产酸相后,有机物已大多转化为有机酸。虽然产甲烷相中发酵细菌量仍然较高(约 10^8 个/ml),但它们的代谢活性已明显受限。负荷冲击时,对于二相工艺来说,产甲烷相内的变化是进水有机酸量发生波动,只要颗粒污泥中产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌作相应的活性调节就能够使运行稳定。这相当于产酸相起到一个中间环节的作用,绕开了颗粒污泥的发酵细菌直接受进水碳水化合物变化的影响。单相UASB反应器与此不同。发酵细菌的生长直接与碳水化合物相联系。进水中碳水化合物含量的增加,很快就影响到发酵细菌的生长,而发酵细菌的过度旺盛生长,往往是引起反应器运行不稳定的主要关键因素。从这一机理角度来说,二相

UASB工艺在提高系统的运行稳定性方面,的确比单相工艺优越。但是,增设产酸反应器,将对厌氧消化器的总体投资,运行管理以及操作人员的技术水平等提出更高的要求,因此,选择工艺流程时必须根据具体情况考虑决定。

图3c表明,高负荷运行状态时,产甲烷相和单相UASB反应器的产甲烷细菌含量基本一致,而且数值波动很小。这与二者的处理能力相近是一致的。从图3可以发现,产甲烷相中发酵细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌含量大致相同(约 10^8 个/ml),表明反应器处理能力的提高主要依赖污泥生物量的增加。虽然污泥活性也有提高,但这不是主要因素。产甲烷相中污泥的增长与负荷的提高同步进行;而产甲烷反应器中污泥的生长在一定的运行阶段较快,在一定的阶段较慢。二者的差异可能是颗粒污泥中各类细菌之间的互营共生关系所致。

参 考 文 献

- (1) Callander, I. J. and J. P. Barford: Recent Advances in Anaerobic Digestion Technology, *Process Biochem.*, 18(4): 24~30, 1983
- (2) Lettinga, G. The Prospects of Anaerobic Waste Water Treatment, in: *Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of*

Waste, Elsevier Applied Science Publishers, 262~273, 1984

- (3) Morris, G. G. and S. Burgess: Experience with the Anode Process, *Water Pollut. Control*, 83(4): 514~520, 1984
- (4) Ghosh, S. and S. L. Klass: Two-phase Anaerobic Digestion, *Process Biochem.*, 13(4): 15~24, 1984
- (5) Cohen, A. et al: Anaerobic Digestion of Glucose with Separated Acid Production and Methane Formation, *Wat. Res.*, 13: 571~580, 1979
- (6) 严月根: 高速二相厌氧处理的研究, 清华大学环境工程系硕士论文, 1987
- (7) Zeikus, J. G.: Microbial Populations in Digestors, in: *Anaerobic Digestion*, Applied Science Publishers LTD., England, 61~89, 1979
- (8) Lettinga, G. et al: Anaerobic Wastewater Treatment based on Biomass Retention with Emphasis on the UASB—Process, *Proc. 4th Int. Symp. on Anaerobic Digestion*, Guangzhou, China, 279~301, 1985
- (9) 宋仁元等(译): 水和废水标准检验法, 北京, 中国建筑工业出版社, 1985
- (10) 钱泽澍, 闵航: 沼气发酵微生物学, 杭州, 浙江科学技术出版社, 1986
- (11) 张录等: 沼气两步发酵工艺微生物生态学的研究, 中国沼气, 第7卷, 第2期, 9~12, 1989
- (12) 竺建荣, 胡纪萃, 顾夏声: 二相和单相UASB工艺运行特性的比较, 待发表

A STUDY ON MICROBIAL ECOLOGY OF TWO—PHASE PROCESS FOR UASB REACTOR

Zhu Jianrong, Hu Jicui, Gu Xiasheng

(Department of Environmental Engineering, Tsinghua University)

Using Hungate obligate anaerobic technique, the characteristics on microbial ecology of two-phase anaerobic digestion process for UASB reactors have been investigated with synthetic wastewater of crude glucose as substrate. In acid phase, fermentative bacteria are predominant, which reach 10^7 cells/ml, 2~3 orders of magnitude greater than H_2 -producing acetogenic bacteria and methanogenic bacteria. In methanogenic phase, the numbers of three groups bacteria above are nearly the same (approximately 10^8 cells/ml), which imply that the establishment of methanogenic phase depends on the growth and metabolic balance among fermentative bacteria, H_2 -producing acetogenic bacteria and methanogenic bacteria. Compared with the bacterial population existed in single phase process of UASB reactor as reference, the H_2 -producing acetogenic bacteria in methanogenic phase of two phase system are more than the former, which is opposite for fermentative bacteria, and the methanogens between the both reactors exhibit no significant change. This difference of microbial ecology may be one of the factor causing the both reactors to have the different operational stability to shocks of organic loading.

Key words two-phase process microbial ecology UASB reactors