

UASB反应器中厌氧污泥颗粒化的微生物学机理

刘双江 唐 一 胡纪革 顾夏声 周孟淳

(清华大学环境工程系, 北京) (北京师范学院生物系)

摘 要

通过对容积为5升的UASB反应器启动试验, 研究了反应器内以葡萄糖为基质污泥颗粒化过程中不同类群细菌的消长规律。依据对颗粒化过程中细菌行为的观察, 初步提出了厌氧颗粒污泥形成的机理, 讨论了细菌种类对颗粒污泥性能的影响。

关键词: UASB反应器, 厌氧污泥颗粒化, 产甲烷菌, 发酵性细菌

提高反应器内生物量浓度是第二代厌氧生物反应器高效的理论依据之一。通过两种方式达到这一目的: 一是加入载体(如厌氧过滤器、厌氧流化床等)使微生物附着在载体上生长, 二是依靠微生物自身的能力形成颗粒生物体, 即厌氧污泥颗粒化过程^[1]。无论是加载体还是不加载体, 其本质都是微生物依靠自身能力固定化过程。

UASB工艺已被广泛应用于食品、酿造等行业生产废水的处理。试验研究和生产实践证明, 能否在反应器内形成性能良好的颗粒污泥是此工艺成败的关键^[2]。近几年的研究已初步掌握了培养颗粒污泥的基本运行条件, 但很少涉及到颗粒化过程中微生物学特征的变化^[1~5]。本文报道颗粒化过程中不同营养类群细菌的消长规律, 并用电镜观察了这一过程中微生物的活动行为, 分析了细菌种群对颗粒污泥性能的影响。

材料与方法

(一) 反应器及运行工艺

试验用UASB反应器直径7cm, 容积3.5L, 沉淀区直径10cm, 容积1.5L, 反应器总容积为5L。35±1℃下运行。

反应器以人工模拟葡萄糖废水为基质, 添加尿素和磷酸氢二钾, 使基质COD:N:P为200:5:1, 连续进料。工艺流程见图1。

(二) 不同类群细菌计数及菌种初步鉴定

对不同类群细菌(发酵性细菌、乙酸裂解产甲烷菌、丙酸分解菌、丁酸分解菌)的计数采用MPN法, 三个重复。优势菌的初步鉴定通过分析最高生长稀释度确定, 厌氧操作技术及计数培养基见文献^[6]。

颗粒污泥的破碎采用高速匀浆器, 取5ml污泥置于充有N₂的小匀浆杯, 加橡胶盖密封, 以保持其厌氧条件, 7000rpm匀浆2分钟, 用1ml注射器吸0.1ml匀浆液进行10倍稀释, 稀释后计数。

(三) 观察

光学显微镜观察一般经过结晶紫染色。

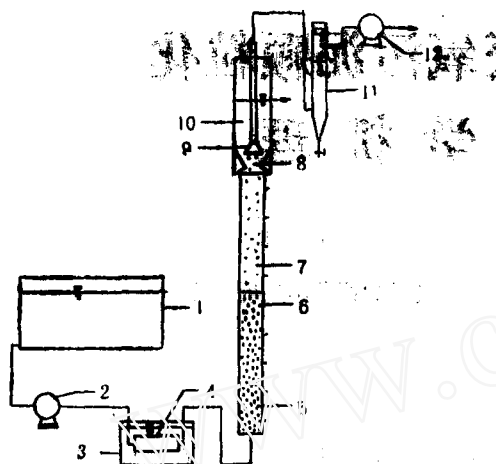


图1 试验工艺流程

- | | | |
|---------|----------|-------------|
| 1. 贮水箱 | 2. 计量泵 | 3. 恒温水箱 |
| 4. 热交换器 | 5. 污泥床区 | 6. 取样口 |
| 7. 悬浮区 | 8. 三相分离器 | 9. 集气罩 |
| 10. 沉降区 | 11. 水封 | 12. 湿式气体流量计 |

扫描电镜为日产KYKY—AMRAY100型，样品制备程序为：戊二醛固定→脱水→临界点干燥→喷金。

结果与讨论

(一) UASB反应器的启动运行及厌氧颗粒污泥的形成和活性

试验UASB反应器以双层沉淀池消化污泥为接种物，接种量为 $10\text{kg}\cdot\text{VSS}/\text{m}^3$ （反应器体积），接种物VSS/SS为0.41，该污泥外观呈絮状，其最大比产甲烷活性接近于零，具有良好的沉降性能，反应器接种后半个月的时间，采用半连续进水，每天进水8小时，到第7天反应器开始产气，第18天后反应器进入启动运行期，连续进料，其运行情况见图2和图3。

从图2和图3可以看到，经过60多天的运行，反应器内厌氧污泥由絮状转变为颗粒状，反应器的运行性能也大大改善，COD去除率一般都在80%以上。首次观察到颗粒污泥是在运行的第60天，由于不是每天都取样

观察，估计颗粒污泥出现日期还要早一些。出现颗粒污泥时反应器容积负荷为 $4.38\text{kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，污泥负荷为 $0.41\text{kg COD}/\text{kg VSS}\cdot\text{d}$ 。参照以前的研究，把厌氧污泥颗粒化过程分为三个时期：启动运行期、提高负荷期和颗粒污泥成熟期。各运行期的工艺参数及污泥的活性见表1。从表1可见，形成颗粒污泥后污泥的活性提高了近两倍，反应器也表现出良好的运行性能。

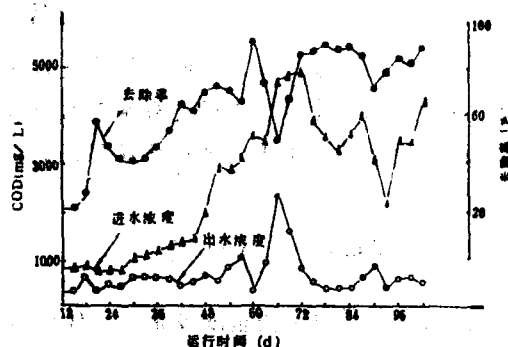


图2 UASB反应器启动过程中进水COD浓度及出水浓度和去除率的变化情况

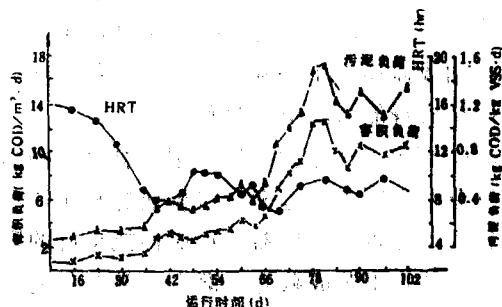


图3 UASB反应器颗粒污泥形成过程中容积负荷、污泥负荷及HRT的变化情况

(二) 厌氧污泥颗粒化过程中不同营养类群细菌的消长规律

在反应器不同运行时期发酵性细菌、丙酸分解菌、丁酸分解菌和乙酸裂解产甲烷菌的数量列于表2，结合图2和图3可以看出：

表1 试验UASB反应器运行参数及污泥活性

分 析 项 目	启动运行期 (第1~24天)	提高负荷期 (第25~48天)	颗粒污泥成熟期 (第48~104天)
进水COD浓度 (mg/L)	751~1018	1012~1448	3030~4914
出水COD浓度 (mg/L)	320~619	425~607	406~2393
出水挥发性脂肪酸 (VFA) 浓度 (mg/L)	151~322	125~210	160~670
COD去除率 (%)	37.3~61.5	45.9~88.2	44.9~90.0
反应器容积负荷 (kgCOD/m ³ ·d)	0.76~1.57	1.56~3.67	4.38~12.70
污泥负荷 (kgCOD/kgVSS·d)	0.09~0.19	0.19~0.45	0.45~1.54
产气量 (LCH ₄ /d)	0.30~1.30	1.30~6.60	6.20~31.00
最大比产甲烷速率 (L·CH ₄ /kgVSS·hr)	—	360.4	1158.0
最大比COD去除率 (kgCOD/kgVSS·hr)	—	4.632	1.830

表2 颗粒污泥形成过程中不同类群细菌的消长规律

反应器运行期	启动运行期	提高负荷期	颗粒污泥成熟期
取得日期	第1天	第30天	第60天
发酵性细菌	2.5×10^7	4.5×10^8	2.5×10^{10}
丙酸分解菌	1.5×10^3	2.0×10^5	7.5×10^7
丁酸分解菌	4.5×10^3	4.5×10^6	4.5×10^7
乙酸裂解产甲烷菌	9.5×10^2	2.0×10^5	7.5×10^7

1. 以葡萄糖为基质厌氧降解生态系统中的发酵性细菌,在启动运行期内迅速繁殖,很快增长到 10^7 个/ml·污泥液,其它营养类群细菌的数量较低(表2)。发酵性细菌的快速增长为其他细菌类群的生长提供了条件。

2. 在提高负荷期,随进水浓度升高和反应器水力滞留时间缩短,反应器容积有机负荷从1.56提高到3.67kgCOD/m³·d,污泥负荷从0.19提高到0.45kgCOD/kgVSS·d。负荷的提高丰富了反应器内细菌的营养,发酵性细菌把葡萄糖分解为乙酸、丙酸、丁酸等产物,为利用这些物质代谢的细菌提供了生长条件。从表2可见,在这一时期,乙酸裂解产甲烷菌、丙酸分解菌、丁酸分解菌分别都增加了三个数量级,而丙酸和丁酸分解菌的数量超过了乙酸裂解产甲烷菌的数量,

这与它们在厌氧生态系统中的营养物质的种类和浓度有关。厌氧生态中丙酸和丁酸浓度的增加早于乙酸,因此丙酸和丁酸分解菌的增长早于乙酸裂解产甲烷菌的增长。

3. 经过前两个阶段的运行,反应器内厌氧污泥虽然仍呈絮状,但其性能已发生很大改变,各营养类群细菌都达到了一定数量,污泥活性也大大提高(表1)。当负荷提高到4.38kgCOD/m³·d,反应器运行进入颗粒污泥成熟期,反应器内污泥迅速转变成颗粒状,这一阶段中各营养类群细菌数量见表2,其中发酵性细菌和乙酸裂解产甲烷菌数量增加较大,其原因是由于负荷的迅速提高,丰富了发酵性细菌的营养,加之它的倍增时间较短,使它有较大的增长。另外,在提高负荷期丙酸和丁酸分解菌数量的增加,提高了反应器内乙酸的产率,所以乙酸裂解产甲烷菌能够得到丰富的营养而生长。

(三) 厌氧污泥颗粒化过程的电镜观察

反应器从接种到完全颗粒化,伴随着颗粒化过程的进行,厌氧活性污泥中的细菌发生了更替。图4显示了颗粒化过程中微生物生长的情况。图中的丝状菌与计数观察到的优势产甲烷菌相似,该菌专性利用乙酸盐,单个细胞为杆状,两端钝平,多个细胞常连结在一起呈丝状,电镜切片还可见到细胞联

结处有隔存在。初步判断它为甲烷丝菌 (*Methanothrix sp.*)。图4—1为丝菌绕小颗粒生长的情况,此颗粒可能来自接种物;图4—2为丝状菌自身缠绕形成100 μ m的颗粒小体。这些颗粒小体构成颗粒污泥的亚单

位。图4—3显示颗粒表面是由许多亚单位构成,亚单位之间存在着间隔,这些间隔和亚单位内部的空隙为颗粒泥污与进水基质的物质交换提供了便利条件。构成颗粒污泥的亚单位之间还有丝状菌包绕(图4—4。)



图4 厌氧污泥颗粒化过程中细菌生长及成熟颗粒表面情况

根据这些观察和颗粒化过程中细菌的消长规律,我们认为厌氧污泥颗粒化过程大致如下:在启动运行期,发酵性细菌、有机酸分解菌和产甲烷丝菌迅速增加,丝状菌附着在由接种物带来的小颗粒成自身缠绕生长,形成100 μ m左右的颗粒小体,即构成颗粒污泥的亚单位,在提高负荷阶段中,这种亚单位迅速增长,当达到一定浓度后,亚单位之间的接触机会增多,相互聚集形成更大的颗粒,反应器进入颗粒污泥出现及成熟期,大的颗粒外围再被丝状菌进一步包裹,形成成熟的颗粒污泥。

(四) 细菌种群对污泥颗粒化及颗粒污泥性状的影响

试验所培养的颗粒污泥大小为0.5~1.0mm,表面光滑,优势产甲烷菌为甲烷丝菌,表面以消化链球菌(*Peptostreptococcus sp.*)占优势。

优势菌甲烷丝菌形态特征的变化对厌氧活性污泥具有十分显著影响,据Zehnder报道,甲烷丝菌属中的索氏甲烷丝菌(*Methanothrix soehngenii*)长度为0.8~2.0 μ m的杆菌,多个细菌经常连接在一起呈丝状存在,丝状菌外有鞘^[7]。我们对一个未完成颗粒化过程的反应器(反应器补充碱度不够)中厌氧污泥进行电镜观察,发现该菌是杆状而不是呈丝状(图5—1),这可能是该类反应器中污泥不能够颗粒化的原因。环境条件如何影响甲烷丝菌的形态还有待于进一步研究。



图5 链菌对颗粒污泥形成及其性能的影响

反应器的微生物生态系统中, 发酵性细菌是生长速度最快、倍增时间最短的一类细菌。试验证明, 在反应器超负荷运行时, 由于这类细菌的大量繁殖, 使各类细菌比例失调, 这时颗粒污泥沉降性能下降, 反应器出水悬浮物浓度升高, 颗粒污泥由黑色转变为灰白色, 电镜观察到污泥中有大量的链状排列的球菌(图5—2)。在我们试验研究过程对该菌进行了分离, 此菌为革兰氏阳性的专性厌氧菌, 初步鉴定为消化链球菌属的细菌(*Peptostreptococcus sp.*)

结 论

1. UASB反应器以葡萄糖为基质厌氧污泥颗粒化过程只有在满足一定的有机负荷条件并且各营养类群细菌达到一定浓度下才会发生。在由絮状污泥培养颗粒污泥的过程中, 发酵性细菌最先增长并在污泥中占优势, 丙酸和丁酸分解菌居其次, 乙酸裂解产甲烷菌数量随乙酸产率的增加而增加。

2. 厌氧污泥颗粒形成过程由丝状菌形成颗粒小体开始, 当颗粒小体(亚单位)达到一定浓度后开始聚集形成大颗粒, 大颗粒再被丝状菌进一步包裹形成成熟颗粒污泥, 颗粒污泥中存在着与进水基质进行物质交换的通道。

参 考 文 献

- (1) Dolfing, J., Wat. Sci. Tech., 18(2): 15~23, 1986
- (2) Hulshoff, L. and G. Lettinga: Wat. Sci. Tech., 18(2): 41~43, 1986
- (3) Wiegant, W. M., et al., : Biotech. Bioeng., 28: 718~727, 1986
- (4) Lettinga, G., Symposium of the 4th international Conference on anaerobic digestion, China, 1985
- (5) 吴唯民, UASB反应器内颗粒污泥的形成及其特性的研究, 清华大学硕士论文, 1984
- (6) 钱泽澍, 闵航: 《沼气发酵微生物学》, 浙江科技出版社, 1985
- (7) Zehnder, A. J. B. et al., Arch. Microbiol., 132: 1~9, 1982

Microbiological Mechanism of Anaerobic Sludge Granulation in a UASB Reactor

Liu Shuangjiang Tang Yi Hu Jicui Gu Xiasheng
(Environmental Engineering Dept., Tsinghua Univ.)

Zhou Menjin
(Beijing Teacher's College, Beijing)

Anaerobic sludge granulation been done in a 5-liter volume UASB reactor. The num-

厌氧消化中污泥浓度对毒物 毒性大小的影响

赵剑强

(西安公路学院系统工程研究所)

摘 要

本文采用间歇式厌氧消化毒性试验对有机毒物(NN—二乙基苯胺, 1000mg/L)在不同污泥浓度下的毒性大小进行了试验研究, 结果表明, 同一种有机毒物, 在相同浓度下, 消化液污泥浓度越高, 毒物对厌氧消化系统显示出的毒性越小。

关键词: 厌氧消化, 污泥浓度, 毒物毒性

一、前言

目前, 厌氧消化技术已发展成为废水处理领域中的主要方法之一, 已在工业有机废水处理中得到广泛应用, 但由于工业废水中常含有对厌氧微生物有毒害作用的污染物, 影响着工业有机废水厌氧消化的毒物毒性的研究。例如, 1986年Yang和Speece^[1]系统地研究了氯仿毒性对乙酸甲烷发酵过程的影响, 探讨了七个参数对毒物毒性大小的影响, 这七个参数是: 毒物浓度、SRT、微生物浓度、毒物接触时间、泥龄、毒物的投加方式、温度等, 结果表明: 较大的SRT, 较高的微生物浓度有利于消化系统产气速率的恢复; 与毒物接触时间较长的微生物活性的恢复时间相对较长; 泥龄较长的微生物其对毒物的抵抗力相对泥龄较短的要

弱。为了进一步探讨毒物毒性大小对厌氧消化的影响及其对策, 本试验采用间歇式厌氧消化法, 以产酸菌与产甲烷菌混合体系为研究对象, 以葡萄糖为厌氧微生物的基质, 毒物一次性投加, 试验研究了不同污泥浓度下毒物对厌氧消化系统毒性大小的影响。

二、试验装置及试验条件

1. 试验装置

试验装置如图1所示。

2. 试验条件

如图1所示, (1)为消化瓶, 消化瓶总容积500ml, 内装消化液400ml, 其中经稀释后不同浓度的接种污泥300ml, 配制的营养液80ml, 自来水20ml, 接种污泥取自西

bers of four group bacteria (acetoclastic methanogens, propionate degrader, butyrate degrader and fermentative bacteria) were determined at different stages of granulation. Based on the behavior of bacteria during the granulation, microbiological mechanism was proposed for the granulation. The effects of microbial species on the properties of granular sludge have been discussed.

Keywords: UASB reactor, Anaerobic sludge granulation, Methanogenesis