

厌氧污泥无载体颗粒化技术

陈 坚 伦世仪

(发酵工程系)

一、前 言

上流式厌氧污泥床反应器(*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*), 简称UASB 反应器, 是国际上70年代以来诞生的一批废水高速厌氧处理装置中最典型的一种^[1]。但是, 多年来对UASB装置运行性能的研究和实践发现其能否成功地运行和具有高效率, 关键取决于能否在其内部培养得到活性高且沉降性能优良的颗粒污泥^[2]。颗粒污泥UASB反应器处理有机废水的能力已为传统厌氧处理工艺的20—30倍^[3]。为此, 国内外一些学者都已开始了颗粒污泥的研究^[4], 但都还停留在颗粒形成的宏观工艺过程和颗粒化过程的初级阶段^{[5][6]}。

本文在较详细地研究了污泥颗粒化的环境因素、营养条件和培养技术的基础上, 对颗粒污泥的微生物组成、内部结构和颗粒污泥的实用性也进行了初步的探讨, 其中包括对不同的废水颗粒污泥的接种、增殖和处理问题; 对各种环境条件的变化, 颗粒污泥 UASB 反应器的适应性等。

二、实验材料和方法

图 1 给出了实验室规模的 UASB 处理工艺。全部系统装在温度 35±1℃ 的恒温水箱中。实验所用的人工合成废水成分见表 1, 所用的丙、丁废醪取自无锡溶剂总厂, 其成分见表 2。实验中测定的项目包括:

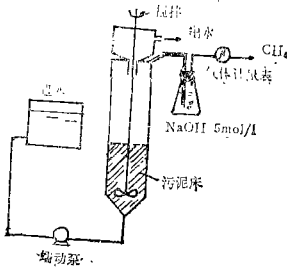


图 1 实验室采用的 UASB 反应器装置示意图

表 1 人工合成废水主要成分

成 分	浓 度(mg/l)
葡 萄 糖	1000—5000
酵 母 膏	100
(NH ₄) ₂ SO ₄	100
NH ₄ Cl	100
KH ₂ PO ₄	100
NaHCO ₃	1650

表 2 丙丁废醪主要成分

成 分	浓 度(mg/l)
COD	21143.4
N	519
P	145
挥 发 酸	945
悬 浮 固 体	14209
糖	2448

本文 1987 年 6 月 10 日收到。

- 1) 悬浮固体(SS)、挥发性悬浮固体(VSS)和污泥沉降指数(SVI)采用标准方法测定^[1]
- 2) 比产甲烷活性和辅酶F₄₂₆的测定根据文献^{[8][9][10]}
- 3) COD采用半微量快速烘箱法^[11]
- 4) 气体产量由气体计量器测定, 气体成分采用气相色谱法分析
- 5) 颗粒污泥的生物相用扫描电镜和透射电镜观察
- 6) 颗粒内外元素分析由能谱仪进行

三、结果与讨论

1. 在 UASB 反应器中污泥颗粒化过程的研究

1) 颗粒污泥的培养对接种污泥的种类要求不严格。一般对取来的接种污泥进行驯化之前应进行简单的预处理, 以除去粗渣等惰性物质。由于污泥接种量、沉降性能和活性等因素直接影响到培养初期菌体的存留和反应器的启动速度, 因此实验研究发现对“厚稠”型(大约60kgvss/m³)和“薄稀”型(小于40kgvss/m³)污泥, 接种量分别以10—20kgvss/m³和5kgvss/m³左右为宜, 污泥沉降指数SVI值可在50ml/gss或更低, 活性应在0.2kgCOD/kgvss·day左右, 太高或太低都是不利的。

2) 为加速颗粒化进程, 接种污泥可采用复活培养至3kgCOD/m³·day, 初始进水浓度可由间隙试验确定。在培养过程中, COD污泥负荷的增加方式是整个过程能否顺利而又迅速进行的关键, 可根据COD去除率和气体中H₂的比例变化, 采用超负荷培养法来不断增加COD污泥负荷。试验发现, 一旦COD污泥负荷达到0.6kgCOD/kgvss·day, 颗粒污泥会迅速形成。图2为污泥颗粒化过程中反应器的运行情况。

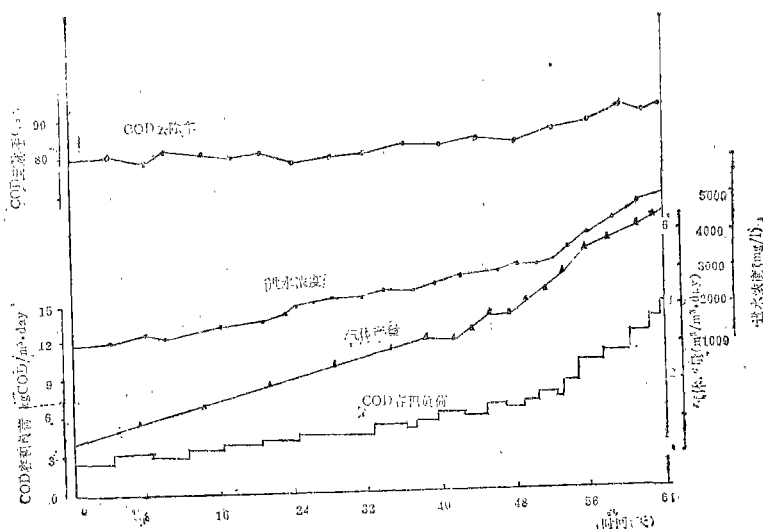


图2 UASB反应器中颗粒化过程

3) 污泥颗粒化过程可分为启动运行期、颗粒污泥出现期和颗粒污泥成熟期, 分别以达到COD容积负荷为5kgCOD/m³·day、5.0—7.5kgCOD/m³·day和14kgCOD/m³·day作为各期结束的标志。各个运行期中还有一些特点见表3。应强调的是, 随颗粒化的进行, 反应器中优势菌的变化是从球菌占优势逐步变成杆菌占优势, 这点对研究生物相的变化过程具有非

常重要的意义。

表 3 颗粒化过程中三个不同运行期的特点

时 期	起 动 运 行 期	颗 粒 出 现 期	颗 粒 成 熟 期
COD负荷(kgCOD/m ³ ·day)	5	5—7.5	14
污 泥 形 态	分 散	絮状和小颗粒	颗 粒
悬浮层与污泥层界面	清 楚	不清楚	较清楚
悬浮层污泥浓度	低	较 高	较 低
污泥上浮问题	稍 有	有	无
污泥沉降性能	不 好	不大好	好
优势菌变化情况	球 菌	球菌、杆菌各半	杆 菌

4) 表面负荷和产气量是在絮状污泥和颗粒污泥之间进行连续淘汰、选择的决定要素,应尽可能加以提高。同时实验发现在培养过程中洗出的沉降性很差的絮状污泥不应回流入反应器中。

5) 培养颗粒污泥,对进水的营养物、碳氮磷比例、无毒物与抑制物等要求与一般厌氧污泥的驯化相似。为保证一定的表面负荷而又使污泥不被洗出,进水有机物浓度以COD为1000~5000mg/l为宜。试验中环境温度为35℃,进水pH控制在7.0左右,试验发现机械搅拌不是必需的,尤其是在颗粒化开始后。

本试验采用葡萄糖配制的合成废水为基质,以一般沼气发酵池污泥为接种污泥,采用上述培养技术,在UASB反应器中,经过65天时间的培养得到了颗粒污泥(见图3)。实验发现若在接种污泥中加入少量的颗粒污泥,则可缩短培养时间(48天完成)。这种由合成废水培养得到的颗粒污泥在反应器中能很快(10天)适应丙丁废醪(见图4),并且在丙、丁废醪中也能迅速地增殖。

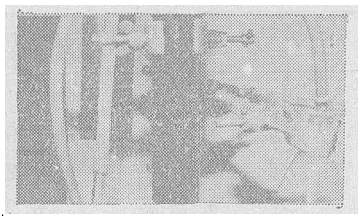


图 3 装有颗粒污泥的小型 UASB 反应器

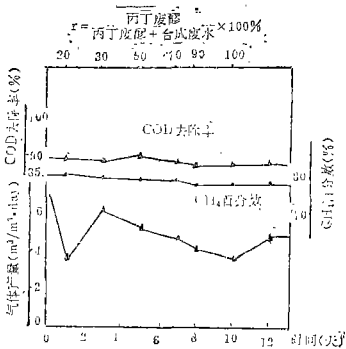


图 4 从合成废水到丙丁废醪 UASB 反应器运行情况

2. 颗粒污泥性质的研究

1) 用合成废水培养得到的颗粒污泥外表呈灰褐色(用溶剂厂废水增殖培养得到的颗粒呈黑色),直径多数在0.5~2.0mm(见图5),外表常有一层粘膜(见图6),比重为1.056,污泥

的SVI 值为18.7ml/gss, 最大比COD去除率达到了1.82kgCOD/kgvss·day, 且用以评价污泥产甲烷活性的辅酶F420的含量在颗粒污泥中达0.344 μ mole/gvss, 要比长期驯化达稳定的絮状污泥(F420: 0.113 μ mole/gvss)高3倍左右。这些都说明了颗粒污泥具有优良的沉降性能和很高的活性。此外, 颗粒还具有一定的机械强度, 并能较长期地保持结构的稳定。

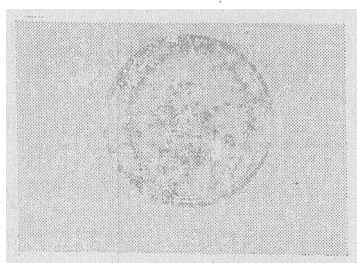


图5 颗粒污泥的大小尺寸

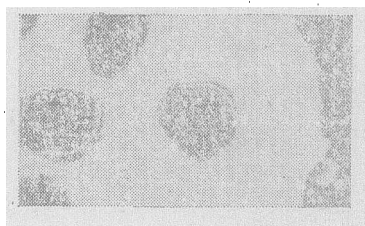


图6 颗粒污泥外表面一层
粘膜($\times 20$)

2) 对颗粒污泥进行扫描电镜镜检发现, 颗粒为多孔结构, 表面微生物有杆菌、球菌等(见图7、图8)。颗粒内截面显微摄影表明内部菌体分布是随机的(见图9)。元素分析结果

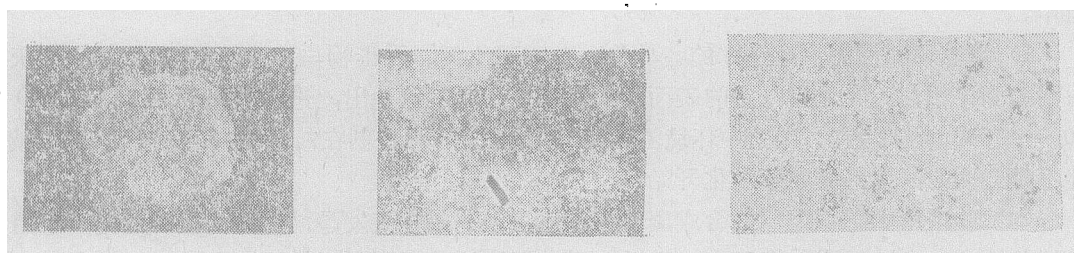


图7 颗粒污泥外观扫描电镜照片



图8 颗粒表面微生物扫描电镜照片

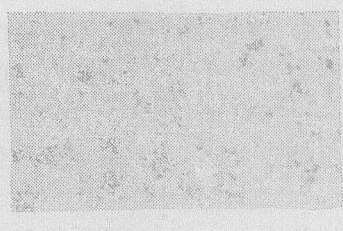


图9 颗粒污泥内截面(切片)微生物分布照片

(见表4、表5)说明颗粒表面与内部的主要元素均为Si、Ca、P、S等。颗粒内菌体的透射电镜镜检发现有某种杆菌分泌出可能是某种粘性聚合物的东西(见图10)。

表4 颗粒表面元素分布

元 素	重量百分数 (%)
Na	14.64
Mg	2.59
Al	7.31
Si	19.02
P	8.21
S	15.92
K	3.78
Ca	8.72
Fe	5.62
Cu	6.92
Zn	7.26

表5 颗粒内部元素分布

元 素	重量百分数 (%)
Na	17.18
Mg	4.91
Al	8.21
Si	13.25
P	10.17
S	17.92
K	1.90
Ca	6.67
Fe	4.75
Cu	7.35
Zn	7.68

3) 关于污泥颗粒化机理 尽管颗粒污泥的形成可能有多种机制和多种细菌的作用, 但就我们所得到的实验结果而言, 作者认为首先是在一定的适宜条件下, 一些杆菌分泌出某种粘性的胞外聚合物, 然后部分不分泌粘液的菌体和惰性无机杂质极易附着于这种粘液上(图10和图11), 由此形成颗粒污泥。因此, 颗粒化的本质是微生物作用的结果, 不取决于化学絮凝剂的投加与否。

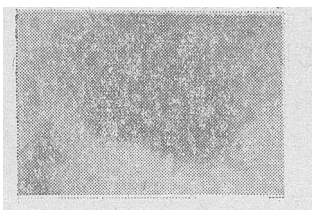


图10 颗粒内部菌体透射电镜照片

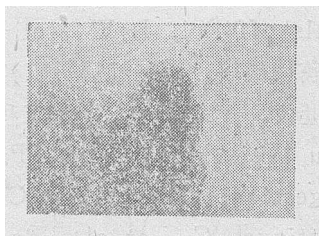


图11 颗粒内菌体相连的情形

3. 颗粒污泥 UASB 反应器的运行性能研究

1) 装有颗粒污泥的 UASB 反应器处理不同浓度的合成废水都取得了较好的效果。在进水有机物浓度5500mg/l, COD容积负荷在40—45kgCOD/m³·day时, COD去除率都在85%以上, 产气率6.0—6.5m³CH₄/m³·day。在处理丙、丁废醪(COD为10,000mg/l)时, COD容积负荷达47kgCOD/m³·day, COD去除率在90%左右, 产气率达6.9m³CH₄/m³·day。图12为反应器处理高浓丙、丁废醪的情况。

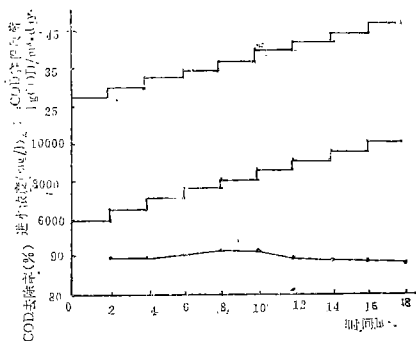


图12 进水浓度与COD去除率的关系

2) 颗粒污泥良好的沉降特性和很高的活性使得 UASB 反应器中不仅菌体的浓度很高, 而且菌体的质量优良, 这样保证了反应器能承受较高的水力负荷冲击和有机负荷冲击。此外污泥颗粒化后生物相的改变和颗粒较为密实的结构对甲烷菌的一定保护作用使得反应器对温度变化和低pH进水的抑制等问题都有高阻尼抗性和稳定性。

三、结 论

- 1) 在实验室内控制适当的营养条件和环境因素, 采取一定的培养措施能在较短的时间内培养得到颗粒污泥
- 2) 颗粒污泥具有良好的沉降性能和高活性, 其内部结构极为合理, 具有很好的通透性;

3) 颗粒污泥UASB反应器处理有机废水的能力较传统厌氧消化装置要高出20~30倍,且其对环境条件的变化具有高阻尼的抗性,是一种非常高效的厌氧反应器。

参 考 文 献

- [1] Lettinga, G., et al., *Biotech. & Genetic Eng. Review*, 253, Vol.21, 1984
- [2] Hulshoff Pol, L.W., et al., *Wat.Sci.Tech.*, 15, Copenhagen, 291—304,
- [3] 远藤银郎著, 王长礼译, 《沼气科技动态》第十六期, 1982.2
- [4] 伦世仪, 第一届全国发酵工程学术讨论会论文, 无锡, 1986.12
- [5] Wu Wei—Min, et al., Paper Presented at 4th Int.Symp on Anaerobic Digestion, Guangzhou, China, 1985
- [6] Lettinga, G., et al., Paper Presented at 4th Int. Symp.On Anaerobic Digeotion, Guangzhou, Chian, 1985
- [7] 中国科学院成都生物研究所, 《沼气发酵常规分析》, 北京科学技术出版社, 1984
- [8] Zeeuw, W.J.de, *Acclimatization of Anaerobic sludge for UASB Reactor start-up*, Wagenigen Agriculture University Press, The Neithelands 1983
- [9] Delafontaine, M.J., et al., *Biotechnol. Lett.*, 1, 71—74, 1979
- [10] Binot, B.A., *Biotechnol.Lett.*, 3, 623—628, 1981
- [11] 陶大均等, 《无锡环境保护》, No.2, 41—48, 1982

87032

提高黑曲霉糖化酶活力的研究——发酵技术《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第4期

主题词 发酵技术,中间补料,控制pH。

摘要 经NTG诱变和自然分离获得黑曲霉变异株AN149,它在平皿上的形态特征为:菌落直径约0.8—1.2cm,少产孢子,培养基背部稍有微淡黄色,其摇瓶酶活较原株UV-11提高66.7%。发酵采用 α -淀粉酶液化,中间补料和控制pH,改善了供氧条件,提高了发酵酶活力。经20m³发酵罐确证,在以玉米粉10%,豆粕4%,麸皮1%的培养基中,糖化酶平均产酶活力为9500u/ml,这与1985年某工厂生产相比较,单罐产量提高82.7%,能耗下降45.2%,电耗下降45.2%,成本下降31.4%,具有较好的技术经济效益。

作者: 郭显章 徐维维 修道高等

87034

渗出法与压榨法提汁中转变速率的研究及蔗汁成分比较的研究《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第4期

主题词 甘蔗压榨; 渗出法; 转化; 速率/化学稳定性; 生化稳定性; 葡萄糖

摘要 作者模拟了甘蔗压榨法和渗出法提汁过程,研究了酶转化率 and 化学转化率。测定并探索了蔗汁中主要成分的变化规律,得到了一系列线性回归方程。分析比较了渗出汁和压榨汁的化学稳定性 and 生化稳定性。对两家不同提汁方法的糖厂进行了生产查定。论证了渗出汁和压榨汁的异同及其相应提汁方法的优缺点。

作者: 杨寿清

陈舜祖

87033

厌氧污泥无载体颗粒化技术研究《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第4期

主题词 厌氧处理、反应器、颗粒、污泥、载体

摘要 高效上流式厌氧污泥床(UASB)反应器能否成功运行的关键在于颗粒污泥的培养。作者对在(UASB)反应器中颗粒污泥的培养技术、营养条件和环境因素进行了较为详细的研究,并从物理学和生物学的角度对颗粒污泥的特性进行了分析和探讨,最后进行了颗粒污泥(UASB)反应器运行性能的研究。研究结果表明,实验室可在65天的时间内培养出具有良好沉降性能和高活性的颗粒污泥,这种颗粒污泥其内部结构极为合理;装有颗粒污泥的UASB反应器是一种非常高效稳定的废水厌氧处理装置。

作者: 陈坚 伦世仪

87035

苹果香精回收技术的研究《无锡轻工业学院学报》1987年,第6卷,第4期

主题词 回收; 香精; 苹果

摘要 本文阐述了一套改进的试验用果汁香精回收装置,并用该装置对苹果香精回收的适宜操作工艺条件和回收率,对存在于果实各部分的香精及重复效果作了研究。

作者: 杨寿清

陈舜祖

87034

A STUDY on INVERSION RATES and COMPARISON of CANE JUICE COMPOSITION in MILLING and DIFFUSION PROCESS 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》Vol.6, No.4, 1987

SUBJECTWORDS Cane milling; Diffusion process; Inversion; Rate/chemical/biochemical stability dextran

ABSTRACT The paper studies inversion rates of sugar and other contents in cane juice due to presence of enzymes and chemical reactions by simulating the cane milling and diffusion process. A series of regress equations on inversion rates is found. The chemical and biochemical stability of milling and diffusion juice are determined. The investigations are made in one cane milling factory and one diffusion factory. The advantages and disadvantages of two processes are discussed.

Author: Wang Hongsheng Xiu Shikang Xie Zixiang et al

87032

STUDIES on RAISING the ACTIVITY of GLUCOAMYLASE of ASPERGILLUS NIGER-FERMENTATIVE TECHNIQUES 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》Vol.6, No.4, 1987

SUBJECTWORDS Fermentative techniques, Feeding medium among process, Control pH

ABSTRACT A high yield mutant *Aspergillus niger* AN149 is obtained mutation for *Aspergillus niger* Co-71 using NTG. Morphological character of the mutant AN149 on the plate; Colony diameter is about 0.8-1.2cm, it has a small amount of spores, and in Medium on the back of the plate has a few light yellow pigments. As compared with strain UV-11, the activity of glucoamylase of the mutant increased about 66.7%. Fermentative techniques of liquefaction by α -amylase, feeding medium among process and control pH were investigated in the fermentation process. The oxygen conditions in the broth were improved, and enzyme activity also increased. Glucoamylase activity can accumulate about 9,500 units/ml(average) by 20m³ fermentor in a medium containing corn meal 10%, soybean cake meal 4%, and wheat bran 1%, pH4. Compared with a standard of a certain works in 1985, the enzyme activity of a single fermentor increased about 82.7%, whereas grain consume decreased about 45.2%, power consume about 45.2%, and cost about 31.4%. The benefit of technical economy is bigger than original.

Author: Wu Xianzhang Xu Weiwei Xiu Daogao et al

87035

A STUDY on the TECHNIQUE of RECOVERY of ESSENCE from APPLE JUICE 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》Vol.6, No.4, 1987

SUBJECTWORDS Recovery; Essences; Apple

ABSTRACT This paper describes a modified installation for recovery of essence from apple juice, and studies the optimum technological condition for operation, the recovery percentage, the quality of re-flavored stripped juice, and the essence from those different parts of the fruit by this installation.

Author: Yang Shouqing Chen Shunzu

87033

A STUDY on GRANULATION of ANAEROBIC SLUDGE WITHOUT CARRIER 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》Vol.6, No.4, 1987

SUBJECTWORDS Anaerobic treatment; Reactors; Grains; Sludge; Carriers

ABSTRACT The successful operation of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB) reactor depends on the granulation of anaerobic sludge. In this paper, the acclimating techniques, the nutritional conditions and the environmental factors in cultivating the granular sludge are studied in details. And in the view of physics and biology, the characteristics of the granular sludge are observed and analysed. Finally, the operational function of UASB packed with granular sludge was investigated. The results show that the anaerobic sludge can be granulated within 65 days in the laboratory, the structure of the granular sludge, which has good settleability and high activity, is very reasonable. An UASB reactor packed with the granular sludge is high effective and fairly stable.

Author: Chen Jian Lun Shiyl