

高活性厌氧颗粒污泥微生物特性和形成机理的研究

赵一章 张辉 唐一 邓宇 连莉文

(农业部厌氧微生物重点开放实验室 成都 610041)

摘要 选择了几种生产废水和人工配水形成的厌氧颗粒污泥,进行了其微生物形态、特性和组成研究。成熟的颗粒表面电镜扫描观察表明,产甲烷索氏丝状菌是形成颗粒的主要细菌,在生长的后期相互缠绕形成拟颗粒状的菌团;八叠球菌在颗粒形成的初期也起到了一定的作用。本研究对人工配水颗粒污泥形成五阶段的污泥微生物组成和运行特点,以及“241”网中空载体核对细菌的粘附作用等进行了初步观察。讨论了厌氧颗粒污泥形成必要的条件。

关键词 厌氧消化,厌氧颗粒污泥,形成机理

1971年以来,Lettinga 所发明的 UASB 反应器能培养出一种具有优良理化和生物学特性、产甲烷活性很高的厌氧颗粒污泥(anaerobic granular sludge)。这种颗粒污泥能在消化器中截留大量的微生物,确保厌氧消化过程稳态运行的控制,充分发挥厌氧消化处理中各种群的功能,从而对厌氧消化发展的焦点问题——改良消化器的装置、获得各种废水的最佳微生物生长水平探索出一条新路^[1-5]。近年,随着国际上 UASB 工艺技术资料的商品化和专利化,有必要在我国进行立项攻关。本研究对厌氧颗粒污泥的基本组成、培养技术和影响颗粒形成的因素等进行了较系统的研究,为加快厌氧颗粒污泥的形成过程,奠定理论研究基础。

1 材料和方法

1.1 材料

几种废水形成的絮状颗粒和颗粒污泥。

1.1.1 几种颗粒污泥运行基本参数:见表 1。

1.1.2 MA 培养基(g/L): NH_4Cl 1.0; K_2HPO_4 0.4; MgCl_2 0.1; 半胱氨酸 0.5; 酵母膏 1.0; 1% Na_2S 和 5% NaHCO_3 分别按 1/50(容积比)加入, pH7.0。

1.2 方法

1.2.1 荧光显微镜观察:采用 Olympus 荧光显微镜观察菌体及颗粒中产甲烷菌的荧光强度和菌体形态^[6]。

1.2.2 电镜观察:电子显微镜型号 KYKY-AMRAY。颗粒污泥经 2.5%戊二醛固定,磷酸缓冲液清洗,超声振荡清洗,乙醇梯度脱水,临界点干燥,真空喷金后进行扫描电镜观察。

• 本研究为七五国家攻关项目。

本文于 1993 年 4 月 5 日收到。

表 1 几种供试颗粒污泥的运行基本参数

Table 1 Basic parameters for several kinds of granular sludge

| 基本运行参数 Basic parameter | 形成厌氧颗粒污泥的废水种类 Wastewater for granular sludge formation | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|---|
| | 人工配水 Synthetic wastewater | 屠宰废水 Slaughter house wastewater | 丙丁废水 Acetone & butanol wastewater | 味精卡那霉素废水 Glutamate & kanamycin wastewater |
| 容积负荷 (kg COD/(m ³ ·d)) Volume loading rate | 10 | 10 | 12.84 | 13 |
| 水力停留时间(h) HRT | 5-7 | 6-8 | 48 | 6-8 |
| 进水浓度(COD mg/L) Influent COD | 3000 | 3000± | 9000-10000 | 4000-5000 |
| COD/去除率(%) COD Removal rate | 90± | 80 | 90 | 80-90 |
| 运行试验温度(°C) Temperature | 35 | 常温 | 35± | 35-38 |
| 颗粒污泥直径(mm) Sludge diameter | 0.7-2.0 | 0.5-1.0 | 0.5-1.0 | 1.0-3.0 |
| 颗粒污泥 SVI(ml/g) SVI | 17 | 81 | 22 | 19.9 |
| 颗粒污泥湿比重(g/cm ³) Wet specific gravity | 1.06 | 1.05 | 1.06 | 1.06 |

注:人工配水组成,用工业糖+尿素+磷酸二氢钾

Note: Composition of synthetic wastewater; Sugar used in industry+urea+KH₂PO₄

BOD: N: P=150: 5: 1, 用 Na₂CO₃ 调 pH 至 6.0-6.5

BOD: N: P=150: 5: 1 pH adjusted to 6.0-6.5 With Na₂CO₃

1.2.3 厌氧污泥湿比重测定方法:采用离心测定法。

$$\text{湿污泥比重} \gamma = \frac{\text{湿污泥重量}}{\text{湿污泥体积}} = \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1) - (M_4 - M_2)}$$

其中, M₁:离心管空重; M₂:装满水后离心管重; M₃:离心后装有污泥的离心管重; M₄:装满水和污泥后离心管重。

1.2.4 颗粒污泥沉降性能测定(SVI)测定:用100ml的量筒从发酵设备中取出100ml料液(或称混合液),静止沉淀30分钟后,记下污泥体积的毫升数,测定样品的悬浮物量。SVI按下式计算:

$$\text{SVI(ml/g)} = \frac{\text{污泥沉淀30分钟后的体积毫升数}}{100 \text{ 毫升混合液中所含悬浮物克数}}$$

1.2.5 载体核对菌粘附性的试验:载体支持物:细沙,二氧化碳,硅藻土,硅胶单体,聚丙烯、241、242 聚合体。

供试菌体处理:将两种颗粒污泥分别匀浆成菌悬液,显微镜检查细菌未受损。

取 25mlMA 培养基分别装入 1ml 菌悬液,加入 1%乙酸、丙酸、丁酸混合液(1:1:1),以 N_2 置换顶空之空气,于 35℃80r/min 摇床培养,逐天进行显微镜观察。

1.2.6 颗粒表面、内截面化学元素分析:采用 TN-5400X 射线能谱仪,样品经乙醇、丙酮梯度脱水等处理,真空喷碳。

2 结果和讨论

2.1 颗粒污泥微生物相

厌氧颗粒污泥是一种具规则或不规则的拟圆形的粒状结构,由许多产甲烷细菌和非产甲烷细菌组成的特殊的厌氧消化种泥。颗粒污泥内的共生菌群是颗粒形成过程中自然

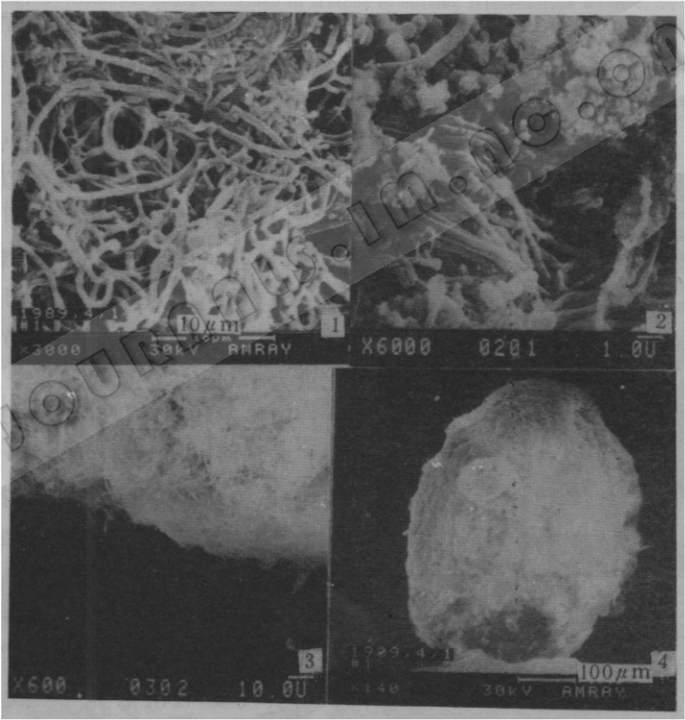


图 1 人工配水形成的颗粒污泥

Fig. 1 Granular sludges formed in synthetic wastewater

1. 以丝状菌为主的颗粒表面;2. 以八叠球菌、丝状菌和球菌混栖分布;
 3. 不良条件下表面丝状菌体的自溶现象;4. 人工配水形成的颗粒外表。
1. Granula surface with *Methanothrix* as dominant bacteria;2. *Methanosarcina*, *Methanothrix* and *Methanococcus* Living;3. Autolysis of *Methanothrix* under poor condition;4. The surface of granular sludge formed in synthetic wastewater.

选择的结果,这些菌群间存在生理上的互营共生作用。水解菌、产氢产乙酸菌以及产甲烷细菌在颗粒内生长、繁殖,形成相互交错的菌丛,在消化器中它们以自然选择进行重新分布,以达到菌群种间氢转移的协调进行。颗粒内部各种间细菌互营共生,相互结合形成复杂的菌群结构,这样就导致微生物组成和鉴定研究上的复杂性。至今,借助于荧光显微镜能直观地对产甲烷细菌进行特异性观察。此外,目前在颗粒微生物生理菌群研究中还使用了限制性培养基培养菌落稀释计数法、MPN 计数法和免疫探针法。然而由于形成微生物的聚合体和菌群间生长代谢依赖关系,造成细胞分散的困难,所获得的各种功能菌数量和菌群可能是一不清晰的概念,与真实数量间存在着极大差异。但是电镜技术的超微结构观察和荧光显微技术,使我们可以属一级上对常见的产甲烷细菌进行初步的鉴定。

2.1.1 人工配水的颗粒:人工配水可形成外表较为规则、比表面积大的颗粒多孔体。扫描电镜观察可见表面有较多的空穴,自然形成内部菌体产气的释放通道,这些通道也是基质进入颗粒内部的途径。人工配水形成的颗粒内,各种菌群呈不均一分布,在形成的颗粒中,存在着以产甲烷丝状菌和球菌分别占优势的区域,而多数为各种菌群混栖的分布,也能发现八叠球菌相互叠加,形成拟八叠体。本实验观察到在颗粒形成的后期,表面以丝状菌为绝对优势,在不利的条件下,表面丝状菌断裂,但并不会导致颗粒解体(图 1)。

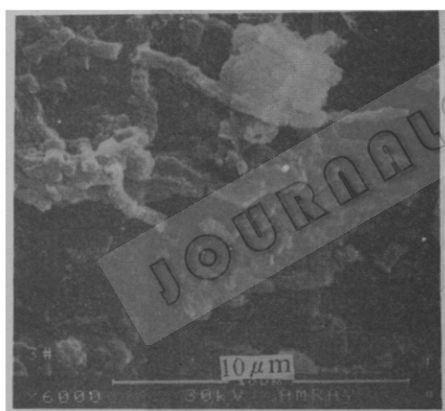


图 2 屠宰废水絮状颗粒中产甲烷杆菌、短杆菌、八叠球菌及丝状菌

Fig. 2 *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosarcina* and *Methanodryas* occur in floccular of granular sludges formed in slaughterhouse wastewater

2.1.2 肉联厂屠宰废水颗粒污泥:屠宰废水形成的颗粒污泥为黑色不规则拟圆形粒状,颗粒较小,直径 0.5—1.0mm,表面较粗糙,但活力较强,采回的样品产气迅猛。颗粒不能形成似 Paques 公司的以碳水化合物培养的紧密型颗粒,表面较松散,呈絮粒状,而沉降性能较好,湿比重为 1.05。置于荧光及相差显微镜下可见到有产甲烷丝状和杆状菌、八叠球菌、短杆菌及球菌。各种产甲烷细菌在颗粒中没有明显的分布规律。电镜观察可见表面有较多的丝状菌,尽管结构不紧密,但较稳定。放置 12 个月的颗粒,能较快的复苏并产生甲烷(图 2)。

2.1.3 丙酮丁醇废水形成的颗粒污泥:颗粒为黑灰色拟圆形,表面粗糙,沉降性能较好,但絮状物质较多,在消化器中约有一半不能形成颗粒。显微镜下观察可见到产甲烷丝状菌、产甲烷杆菌和球菌。偶尔也可在视野中观察到产甲烷八叠球菌。扫描电镜可观察到颗粒表面有些区域以丝状菌为主,而有些区域以短杆菌为主,或

为丝状菌、短杆菌及球菌的混栖区域。在形成的颗粒中,1—1.2mm 的颗粒较为紧密,2mm 以上的颗粒结构则较松散,呈絮粒状颗粒(图 3)。

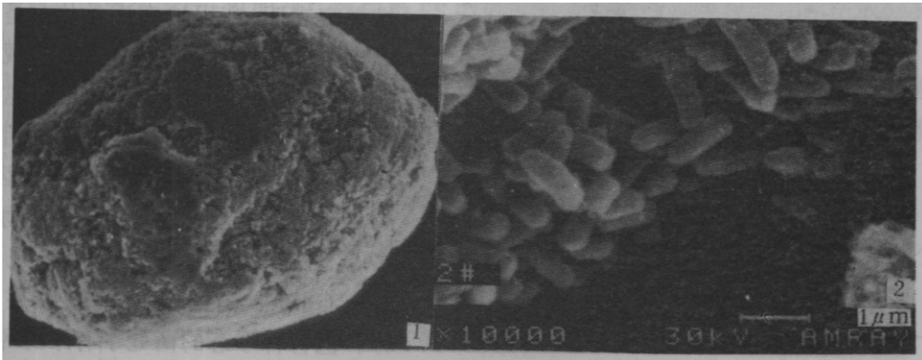


图3 丙酮丁醇废水形成的颗粒污泥

Fig. 3 Granular sludges formed in acetone & butanol fermentation wastewater

1. 颗粒污泥; 2. 丙酮丁醇废水颗粒中以短杆菌为主的区域
1. Granular sludge; 2. The area with *Methanobrevibacter* as a dominant bacterium in the granular sludge.

2.2 厌氧颗粒污泥形成机理

我们就以不同废水所形成的颗粒污泥,对形成机理进行了以下方面的研究。

2.2.1 关于形成颗粒污泥的微生物学:根据几种颗粒污泥的微生物生物相的电镜显微观察结果,就主要产甲烷菌群及其在颗粒形成中的作用进行讨论。

同位素示踪实验已证实在消化器中70%以上的甲烷来自乙酸。因此乙酸型的产甲烷细菌——产甲烷索氏丝状菌和八叠球菌是我们研究中首先关注的细菌。无论是用两种接种源在人工配水形成的颗粒污泥,还是用丙酮丁醇废水等所形成的颗粒污泥,这两类菌在扫描电镜和相差显微镜下都很容易发现,而且经常在视野中形成主要分布区域(图4)

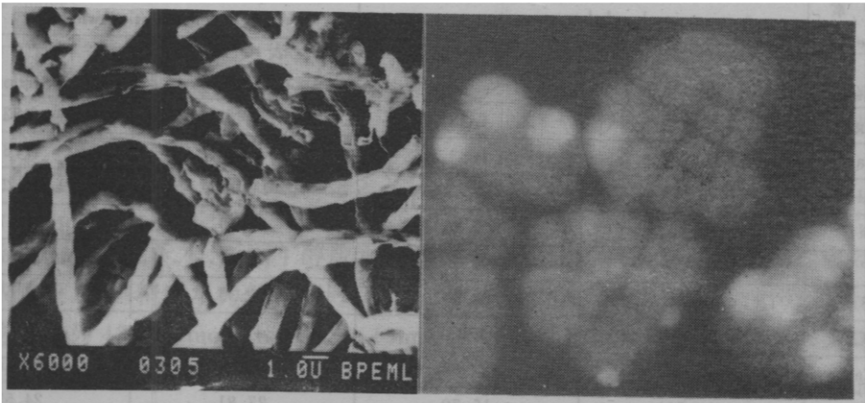


图4 在限制性培养基中多次转移后所分离的产甲烷丝状菌和八叠球菌

Fig. 4 *Methanothrix* and *Methanosarcina* isolated from limited culture medium



图 5 甲烷杆菌生长后期形成的菌团(纯培养)

Fig. 5 The flocus of *Methanobacterium* formed in last growth stage

对两种成熟的颗粒污泥表面电镜扫描观察表明,产甲烷索氏丝状菌是颗粒形成的主要细菌。实验中我们也观察了 H_2/CO_2 (或甲酸)型产甲烷杆菌。这种细菌在生长过程中,菌体可伸长并相互缠绕,经常在生长后期形成明显菌团(图 5)。显微镜下观察发现各种微生物区系多呈现随机性分布。我们未观察到 S. R. Guiot^[7] 描述的所谓颗粒层次之分。但各种形态的菌处于有序的网状排列,其间有气体、基质交流的通道,并能使各种微生物菌群呈最佳的种间氢转移状态。以前的研究者描述了截然不同的

颗粒作用机理图,就主要菌群的相互作用的研究来说,目前尚难以有充分依据地提出模拟机理图解。

2.2.2 形成颗粒污泥化学相:人工配水试验证明,在未加钙的情况下颗粒也能形成,但机械强度弱,加钙后机械强度明显改善。采用 TN5400 能谱仪分析,不管是颗粒表面还是内截面,Fe、Ca、Si、P、S 均为大量元素。丙酮丁醇废水颗粒污泥表面的 Ca、P 明显高于内部。S 则相反,内核组成明显高于表面。肉联厂屠宰废水也基本上属于这个规律,Ca 的含量内外变化则不明显。从钙和铁的含量来看,可能与颗粒形成有关,但不同颗粒的含量并不一定为有序的径向分布。

表 2 颗粒污泥元素组成相对含量(机型:TN5400)

Table 2 Relative content of elements in different granular sludges

| 元 素 Elements | 屠宰废水形成之絮状颗粒 Flocculus sludge formed in slaughterhouse waste | | 丙丁废水形成之颗粒 Granular sludge formed in acetone-butanol fermentation waste | |
|-----------------|---|----------------|--|----------------|
| | | | | |
| | 表 面 Surface | 断 面 Section | 表 面 Surface | 断 面 Section |
| Mg | 23.72 | 4.23 | 2.49 | 4.82 |
| Na | 1.67 | 1.83 | 1.58 | 1.78 |
| Al | 9.64 | 11.43 | 11.88 | 15.25 |
| Si | 19.35 | 17.86 | 19.49 | 14.67 |
| P | 10.87 | 7.88 | 7.69 | 7.16 |
| S | 18.34 | 23.57 | 16.35 | 20.69 |
| K | 1.58 | 1.35 | 1.20 | 0.72 |
| Ca | 13.75 | 12.88 | 7.36 | 5.85 |
| Fe | 18.51 | 15.70 | 27.81 | 24.57 |
| Ni | 0.19 | 0.29 | 0.26 | 0.39 |
| Co | 0.17 | 0.20 | 0.15 | 0.18 |
| Zn | 3.23 | 2.78 | 3.82 | 3.92 |

分析中Fe的含量在表面总是略高于断面处,这可以推断非产甲烷细菌硫酸盐还原菌在表面比内截面要高,可能与代谢积累Fe的沉淀有关。对两种颗粒的元素组成分析表明,Ni、Co、Zn含量均较为充足。

2.2.3 关于颗粒污泥形成阶段的观察:我们对人工配水和内酮丁醇废水颗粒形成阶段进行了观察和研究,可将颗粒污泥的培养过程分为五个阶段,各阶段污泥特性有明显不同(表3)。

表3 人工配水颗粒污泥形成的几个阶段的特性(35℃培养)

Table 3 The characteristics of granular sludge at different growing stage in synthetic wastewater (cultured at 35℃)

| 形成阶段 Stage | 污泥特性 Characteristics of Sludge | |
|--|---|--|
| | 污泥形态及微生物组成 Sludge morphology & microbiological composition | 运行特点 Operantional characteristics |
| 絮状污泥 Flocculent sludge | 污泥为分散状,在荧光显微镜下产甲烷微生物菌体呈稀疏状多呈流动性 | 沉降性差,活性较低有机负荷低于1kgCOD/(m ³ ·d) |
| 絮团状污泥 Flocculent & granular sludge | 污泥基本上仍为絮状,出现部分缠粘状、粒径小的絮聚体,荧光显微镜下能观察到杆菌、短杆菌、球菌等产甲烷菌,相互交错排列缠绕起 | 沉降性能有所改善,有机负荷已达15kgCOD/(m ³ ·d),污泥出现膨胀现象。污泥负荷为0.1~0.3kg/(m ³ ·d) |
| 小颗粒污泥出现 Appearance of small granular sludge | 污泥中小颗粒(0.5mm)大量出现,能感觉到小颗粒表面的粘状分泌物,索氏丝状菌开始出现,插入其它细菌之间 | 污泥絮体上常伴有“气泡”污泥床出现10~20%明显的膨胀,伴有气泡的小颗粒随液流上升,脱气后下沉现象明显,有机负荷已大于5kgCOD/(m ³ ·d) |
| 颗粒污泥生长 Growing of granular sludge | 小颗粒污泥不断增大,索氏丝状菌大量增殖,粒径明显增大至1~3mm,表面颜色由黑转灰 | 颗粒污泥沉降性能变好,有机负荷提高到10kgCOD/(m ³ ·d)左右 |
| 成熟颗粒污泥 Granular sludge mature | 颗粒污泥形态更趋拟圆形,粒径基本稳定。形成稳定菌群,且大小较一致 | 沉降性能明显变好,颗粒污泥床稳定,跑泥现象基本停止。各类细菌活性稳定,对环境的抗逆性增强 |

我们在嗜热人工配水、内酮丁醇废水和酒精废水颗粒污泥形成过程中都观察到了类似的形成阶段。以酒精废水为例,接种污泥为二年未运转的狮子山厌氧活性污泥,活性低,氢化酶含量仅为43(H₂μmol/(mgVSS·10min))。在开始出现絮状团聚污泥时,沉降性能差,负荷为0.5~1.0kg/(m³·d)跑泥严重。大约几天后,小颗粒大量形成,H₂μmol/(mgVSS·10min)污泥负荷从不大于0.1kgCOD逐渐增至大于0.3kgCOD/(m³·d),有机负荷明显提高,可观察到几乎全部由细菌构成的颗粒,成熟的颗粒大小均沉降性能好,微生物的功能也呈最佳状况,负荷约2.0kg/(m³·d),颜色逐渐由黑变为黑灰色。其后的

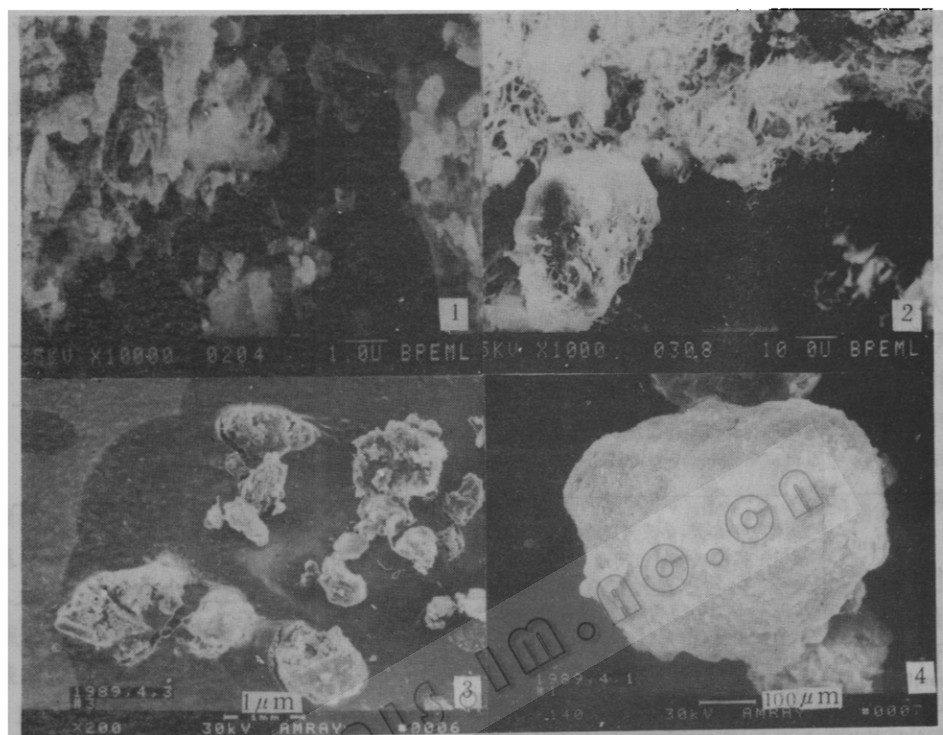


图 6 人工配水形成颗粒污泥的各阶段状态

Fig. 6 The state of sludge at different stages in synthetic wastewater

1. 絮状污泥; 2. 絮状微生物聚体形成; 3. 小颗粒形成; 4. 成熟之颗粒

1. Flocculent sludge; 2. Formation of flocculent microorganism accumulation;

3. Formation of small granular sludge; 4. Mature granular sludge

20 天, 颗粒逐渐变大, 丝状菌增加快, 负荷达 $6\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 氢化酶的活力可高达 $647 (\text{H}_2\mu\text{mol}/(\text{mgVSS} \cdot 10\text{min}))$, 跑泥现象基本停止。50 天以后, 负荷进一步增大到 $10\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上, 形成较为均匀的黑灰色颗粒 ($1.2-2.0\text{mm}$), 具有稳定的微生物菌群。

2.2.4 颗粒形成中载体核及细菌粘附作用: 惰性支持物对厌氧产甲烷菌本身的附着和细菌分泌物的粘附作用早已被许多学者所关注^[10], Aiiibhai 和 Forster (1986) 的研究已证明胞外多聚体对促进颗粒长期稳定有影响^[11]。

我们选用的 241 和 242 网状中空的聚合体对试验的两种废水均表现了优于其它载体的良好的吸附性能, 其中 241 又明显优于 242。在发酵试验中证明这种载体无任何毒性, 仍表现出良好的产气性能。这种对菌体吸附速率快 (24 小时) 且沉降性能良好的细菌载体, 有可能成为加速启动时颗粒形成的载体添加剂。在培养 40 余天后, 241 聚合体中空部分已由部分菌体所充填, 产气良好 (图 7)。

2.2.5 颗粒形成必要条件:在试验中就其形成有关因素,我们得出颗粒形成的必要条件有以下几方面:

废水基质类型对颗粒形成影响极大,碳水化合物基质比富含脂肪酸的基质更容易形成颗粒污泥;悬浮物较多的屠宰有机废水和含有某种难降解物质的丙酮丁醇废水最终只能形成体积极小、颗粒结构松软、甚至呈絮状的颗粒污泥,其污泥床中颗粒层与絮状层界线不甚明显,颗粒的紧密程度不如以糖类为主的或人工配水所形成的颗粒污泥,尽管它们均采用了同一接种物。

就消化器本身结构而言,在一定布水水流的影响下,利用三相分离器,无疑对颗粒化有重要的作用。然而维持一定的水力负荷也是很重要的,在水力负荷和容积产气相对较高的情况下,液流对污泥有一定的分选作用。尽管反应器中三相分离有一定的“截流”作用,絮状的密度较小的颗粒污泥仍能溢出。因此启动初期为使正在逐渐形成的颗粒不被流走,水力负荷控制在 $0.2\text{ m}^3/\text{h}$ 。颗粒一旦开始形成,再不断的提高水力负荷,颗粒污泥在外力和水流冲击下也会破碎,碎屑可作为次级粒芯,形成新的颗粒,实验中的装置也依赖“颗粒——破碎——颗粒”这种周期变化,不断维持新鲜的颗粒污泥的形成。

我们多次实验观察,有机负荷需大于 $4\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 方可出现颗粒污泥。其原因可能是由于厌氧各菌群在这种条件下才具备一个营养丰富的生长环境,使厌氧微生物能大量生长,并产生胞外多聚物等物质,进而形成颗粒污泥。长期处于很低有机负荷,是难以形成颗粒污泥的。

产甲烷丝状菌对形成颗粒起主导作用,我们观察的几种废水运行证明,絮状聚合体能否形成沉降性良好的颗粒,关键是甲烷丝状菌能否大量繁殖。尽管丝状菌对基质(HAC)有较高的亲合力,能有效地降解有机污染物,但丝状菌倍增期很长,因此为保证大量繁殖,要保持低的有机负荷,只有在 COD 去除率超过 $70-80\%$ 时,再增加负荷,并利用产甲烷丝状菌对基质的较高亲合力,才能形成以丝状菌为主的良好性状的颗粒污泥。

废水和污泥成份中金属离子如 Ca^{2+} 和 Fe^{2+} 的含量和某些必需的微量元素(镍、钴等)是形成颗粒的必要条件。分析资料已证明,我们所采用的废水和一般工业废水均不缺乏这些元素;接种污泥的微生物活性对颗粒形成速度的影响是明显的。人工配水形成颗粒过程中,二号反应器采用了肉联厂调节池内的沉淀物及沉渣,在启动初期,颗粒形成速率远不如采用了厌氧处理罐中活性污泥的一号反应器。尽管形成后期并无太大的影响,均形成了沉降性良好的颗粒,而颗粒形成速率却大不相同。

我们实验已证明,厌氧细菌能成功地被一些固相支持物所吸附或粘连。类似于 241 网状聚合支持物或接种泥质矿粒以及其它残体都可能加速启动期间微团聚体的形成。

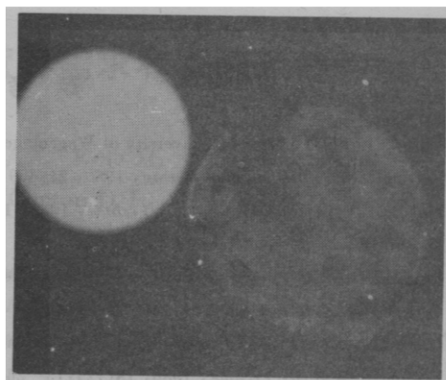


图 7 241 网状中空聚合体对细菌的吸附比较

Fig. 7 The absorption of net polymer for bacteria

致谢 本所钱贻伯、温世鼎和成都科技大学柯益华、上海市工业微生物研究所卢征茹等同志提供了部分试样,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Dolfing J. Ph.D Thesis of University of Wageningen, Netherlands, 1987. 7-56.
- [2] Lettinga G *et al.* *Biotechnol Bioeng*, 1980, **21**:699-734.
- [3] Hulshoff P, Lettinga G. *Wat Sci Technol*, 1986, **18**:41-53.
- [4] Weimin Wu *et al.* *Wat Res*, 1987, **21**:789-799.
- [5] Lettinga G *et al.* *Proc of GASMT Workshop*, Netherlands, 1987. 25-27.
- [6] 赵一章,等. *微生物学报*, 1984, **24**(2):99-104.
- [7] Guioit S R *et al.* *Proc of 5th Int Symp on Anaerobic Digestion*, Sao Paulo, 1988. 17-53.
- [8] Dolfing J. *Wat Sci Technol*, 1986, **18**(12):15-25.
- [9] Weimin Wu *et al.* *Proc of 4th Int Symp on Anaerobic Digestion*, Guangzhou, 1985. 339-354.
- [10] Alibhai K R K, Forster. *Environ Tech Lett*, 1989, **7**:193-200.
- [11] Robinson R W *et al.* *Appl Environ Microbiol*, 1984, **48**:127-136.

STUDIES ON THE MICROBIOLOGICAL CHARACTERS AND THE MECHANISM OF FORMATION OF GRANULAR SLUDGES WITH HIGH ACTIVITY

Zhao Yizhang Zhang Hui Tang Yi Deng Yu Lian Liwen

(The Key-open Laboratory of Anaerobic Microbiology of Ministry of Agriculture, Chengdu 610041)

Abstract Anaerobic granular sludges formed in several kinds of industrial or synthetic wastewater were selected for microbial studies on morphology, characteristics and microbial composition. By scanning the surfaces of matured sludge granules with electronic microscope, it showed that the dominant bacterium in granules was *Methanothrix* sp. which twined about each other to form granule-like pellets during the later period of the growth. And *Methanosarcina* sp. played a certain role during the initial period of granule formation as well. In this study, the microbial composition and operation features in all formation stages of sludge granules in synthetic wastewater and adhesion of the "241" Net Polymer to bacteria were observed preliminarily. The necessary conditions for anaerobic granular sludge formation were discussed.

Key words Anaerobic digestion. Anaerobic granular sludge. Forming mechanism