

颗粒厌氧污泥中的产氢产乙酸细菌研究

竺建荣 胡纪萃 顾夏声

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 本文报道颗粒厌氧污泥中产氢产乙酸细菌的含量及存在方式。在正常运行状态, 随着颗粒污泥的培养和生长, 产氢产乙酸细菌含量维持在 10^7 — 10^8 个/ml。一旦厌氧反应器“酸化”, 颗粒污泥性能变差, 产氢产乙酸细菌急剧下降, 减小到约 10^5 个/ml。比正常状态低2—3个数量级, 说明细菌生长受到了不可逆抑制。电镜观察表明, 产氢产乙酸细菌的分布不是随机的, 它们以微菌落方式存在并排列有序。除了与甲烷短杆菌互营共生外, 还发现了一种和甲烷丝菌间的新型互营共生关系。分析讨论了这些互营共生关系对提高厌氧污泥活性的作用。

关键词 产氢产乙酸细菌, 颗粒污泥, UASB 反应器

产氢产乙酸细菌是厌氧消化过程中一组重要的微生物类群, 它参与丙酸、丁酸等中间代谢产物的降解, 生成乙酸和 H_2 。它与甲烷菌之间的相互关系及对颗粒化过程的影响已是被逐渐探讨的一个研究课题。Schink 等报道^[1], 厌氧消化系统中, H_2 的产生和利用是基质降解细菌生长和生成 CH_4 的限速步骤。污泥颗粒化有利于 H_2 的转化并表现出高产甲烷活性。Dubourguier 等也认为^[2], UASB 反应器中, 污泥的颗粒化结构有利于物质代谢, 特别是种间 H_2 转移。但从热力学计算, 要维持丙酸、丁酸等基质的降解, H_2 分别必须低于 10^{-4} — 10^{-5} atm。据此推算, 颗粒污泥的产氢产乙酸细菌和甲烷菌之间的周隙体积中, 一个细胞周围平均不到溶解性 H_2 分子。因此, Archer 提出^[3], 应用传统的气体定律和化学反应动力学来解释颗粒污泥中的现象有很大疑问。实际上对真实情况还了解很少。本文采用 Hungate 厌氧操作技术, 对 UASB 反应器颗粒污泥中的产氢产乙酸细菌进行了计数测定, 同时对细菌的存在形态和互营共生关系进行了观察分析, 并提出了一种新的互营共生作用方式。

1 材料和方法

所有颗粒污泥样品均取自实验室小试 UASB 反应器。试验装置一共二套: 单相 UASB

反应器和二相 UASB 工艺。二者的运行特性见前报道^[4]。最高容积负荷达 $30\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 成熟的颗粒污泥粒径1—3mm, 沉降性能良好, 产甲烷活性很高。

产氢产乙酸细菌的计数采用三管 MPN 法。培养基配制采用 Hungate 严格厌氧操作技术。培养基配方见文献^[5]。35℃培养3周后观察生长结果, 并计算产氢产乙酸细菌含量。

颗粒污泥中产氢产乙酸细菌的存在形态采用透射电镜 Hitachi-700 观察并拍照。污泥的固定, 脱水, 切片和染色等均按一般方法进行^[6]。

2 结果

2.1 颗粒污泥中产氢产乙酸细菌的含量

2.1.1 正常运行状态: 反应器开始运行后, 容积负荷从启动时的 $2\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 一直提高到最高时 $30\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 左右。在这一过程中, 反应器基本上处于正常运行状态。取不同运行阶段的颗粒污泥测定产氢产乙酸细菌含量, 结果表明(图1), 单相 UASB 反应器中, 在初始阶段产氢产乙酸细菌的含量从接种污泥的 4.3×10^7 个/ml 增加至 4.3×10^8 个/ml。之后随着运行负荷的增加, 含量反而略有下降, 最终维

本研究得到国家青年自然科学基金资助
1992-12-04 收稿

www.cnki.net

3 讨论

① 产氢产乙酸细菌的数量及作用: 本试验测定结果表明, 颗粒污泥中产氢产乙酸细菌含量为 2.0×10^7 — 9.3×10^8 个/ml。根据作者的研究测定^[7], 相应的甲烷细菌和发酵细菌含量分别为 1.5×10^7 — 4.3×10^8 个/ml 和 9.3×10^7 — 4.3×10^9 个/ml。这表明颗粒污泥中的产氢产乙酸细菌和甲烷细菌含量均很高, 接近发酵细菌的含量。这种生态数量分布保证了有机物分解链的代谢过程, 从而维持厌氧消化的正常进行。如果产氢产乙酸细菌含量下降, 整个有机物分解链的正常代谢就会破坏, 结果导致中间代谢产物积累, 如乙酸、丙酸、丁酸等, 反应器出现 pH 下降, COD 去除率下降等现象, 在产酸相反应器或产甲烷相 (包括单相) UASB 反应器“酸化”时情况就是如此。

在产甲烷相或单相反应器“酸化”时, 产氢产乙酸细菌分别为 9.5×10^5 和 4.3×10^5 个/ml, 比正常状态低2—3个数量级。这一结果说明一旦发生不正常运行状态, 产氢产乙酸细菌的生长及代谢受到了不可逆抑制作用。因为如果是丙酸、丁酸等引起的可逆性抑制, 那么通过系列稀释而进行计数培养时, 应该能消除抑制作用并表现出生长。由此也可以得出在工程应用和生产实际运行中必须重视的一条重要控制原则: 当反应器由于运行控制失调而导致“酸化”时, 在恢复运行过程中应优先考虑排除部分酸化污泥, 适量投加新鲜污泥, 这样可以较快地实现恢复反应器的运行性能。

② 产氢产乙酸细菌的分布与存在形态

颗粒污泥的形成不仅能增加反应器内的污泥浓度, 而且也大大提高了污泥的比产甲烷活性。作者认为, 活性的提高主要归因于微生物类群在颗粒污泥中的有序排列, 相互之间接触紧密, 组成一个互惠互利的结构实体。这种结构不仅有利用细菌之间的互营共生, 而且也有利于种间 H_2 转移, 促进有机物的降解。通常, 产氢产乙酸细菌的互营共生甲烷菌为氢营养型的甲烷短杆菌和甲烷螺菌^[8], 因为它们对 H_2 的 K_m 值

较小 (分别为6.6和5.0 $\mu\text{mol } H_2$), 也就是说对 H_2 的亲合力较大, 生长速率较快 (最大生长速率分别为0.107和0.070 h^{-1})。从本研究的颗粒污泥切片中则发现, 除了甲烷短杆菌外, 乙酸营养型的甲烷丝菌也与产氢产乙酸细菌存在互营共生关系。这是首次明确报道, 并且还观察到产氢产乙酸细菌、甲烷短杆菌和甲烷丝菌三者的互营共生体。这种新的互营共生方式为丙酸、丁酸等基质的降解机理提供了新的解释。标准状态下, 要维持丙酸、丁酸的降解, H_2 分压必须低于 10^{-4} — 10^{-5} atm。但是, 如果乙酸盐发生降解并保持在较低浓度, 那么在较高的 H_2 分压下丙酸、丁酸等也能得到有效的分解。已经知道, 乙酸盐是厌氧消化中的重要中间代谢物, 约70%的 CH_4 来自乙酸盐^[9], 而甲烷丝菌又是颗粒污泥中占优势的乙酸营养型甲烷菌, 因此, 甲烷丝菌和产氢产乙酸细菌间的互营共生关系, 对于丙酸、丁酸等基质的降解可能起主要作用, 可以圆满地解释厌氧消化中乙酸盐是 CH_4 的主要前体。它和氢营养型甲烷菌的互营共生作用一起, 共同为颗粒污泥的高产甲烷活性提供代谢结构基础。

参 考 文 献

- [1] Schink B, Thauer P K. Granular Anaerobic Sludge. In: Microbiology and Technology. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 1988, 5—17.
- [2] Dubourguier H C *et al.* Granular Anaerobic Sludge. In: Microbiology and Technology. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 1988, 18—33.
- [3] Archer D B. Granular Anaerobic Sludge. In: Microbiology and Technology. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 1988, 107—111.
- [4] 竺建荣等, 清华大学学报, 待发表.
- [5] 钱泽澍, 闵航. 沼气发酵微生物学. 杭州: 浙江科技出版社, 1986.
- [6] 朱丽霞等. 生物学中的电子显微镜技术. 北京: 北京大学出版社, 1983.
- [7] 竺建荣等. 中国沼气, 1992, 10 (2): 1—4.
- [8] Dubourguier H C *et al.* Proc 5th Int Symp. On Anaerobic Digestion. Bologna, Italy, 1988, 13—24.
- [9] Dolfing J. Wat Sci Technol, 18 (12): 15—25.