

# 自固定化技术强化高效菌种活性的保持\*

吴立波, 王建龙, 刘恒, 黄霞, 钱易 (清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084, E-mail: wulb5@263.net)

**摘要:** 以邻苯二甲酸二甲酯(DMP)为唯一碳源驯化DMP降解菌, 并将其接种到复合式完全混合反应器中以处理DMP和葡萄糖人工配水. 进水COD负荷约 $1.0\text{ g}/(\text{L}\cdot\text{d})$ , 逐渐提高葡萄糖浓度( $0\sim 600\text{ mg/L}$ ), 同时降低DMP浓度( $300\sim 0\text{ mg/L}$ ), 分别测试附着相和悬浮相菌种降解DMP活性的变化. 结果表明: 反应器COD去除率均达90%以上, 葡萄糖引入后, 悬浮相菌种降解DMP比耗氧速率迅速降低, 由 $49.5$ 降至 $4.0\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , 而附着相菌种则逐渐变化, 由 $64.1$ 降至 $48.0\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ . 镜检结果表明: 葡萄糖引入后, 悬浮相菌种中丝状菌大量出现, 而附着相菌种则几乎未出现丝状菌. 由此可见, 在基质变化后由吸附在陶粒载体上引起的自固定化能够强化菌种的高效降解活性.

**关键词:** 邻苯二甲酸二甲酯, 自固定化, 高效菌种, 复合生物反应器, 优先污染物.

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-2301(2000)01-0032-04

## Keeping Degradative Ability of Dominant Species with Self-immobilization Process\*

Wu Libo, Wang Jianlong, Liu Heng, Huang Xia, Qian Yi (State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: wulb5@263.net)

**Abstract:** Dimethyl Phthalate(DMP) was used to cultivate dominant species and the species was introduced in a hybrid completely stirred tank reactor to treat synthetic wastewater with DMP and/or glucose as carbon source. The concentration of glucose was increased from 0 to  $600\text{ mg/L}$ , as that of DMP was decreased from  $300$  to  $0\text{ mg/L}$ , meanwhile  $N_v$ , COD kept about  $1.0\text{ g}/(\text{L}\cdot\text{d})$ . During every stage, the degrading characteristics of the attached species and the suspended species for DMP was studied respectively. The results showed that more than 90% of COD was removed within whole period. After glucose was introduced, oxygen uptake rate of the suspended species to degrading DMP decreased quickly from  $49.5$  to  $4.0\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ . While that of the attached species decreased gradually from  $64.1$  to  $48.0\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ . Microscopic examination demonstrated that filamentous bacteria appeared a lot in the suspended species, but they hardly appeared in the attached species. Thus self-immobilization can effectively retain the ability of degrading refractory organic compound of dominant species.

**Keywords:** dimethyl phthalate, self-immobilization, dominant species, hybrid biological reactor, priority pollutant.

投加高效菌种可有效地增强生物反应器对难降解有机物的降解能力, 但高效菌种的应用常须解决2个问题: ① 高效菌种的保持, 由于一般高效菌种从难降解有机物降解过程中获得的能量较少, 世代周期较长, 易流失; ② 高效菌种活性的保持, 一般菌种优先降解易降解基质, 投加后环境的改变, 使菌种特殊降解活性退化. 由于生物固定化技术可选择性地提高泥龄, 现在投菌法一般同微生物固定化技术同时应

用<sup>[1-5]</sup>. 本文以优先污染物邻苯二甲酸二甲酯(Dimethyl Phthalate, DMP)作为唯一碳源驯化的高效菌种(简称DMP降解菌)处理DMP和葡萄糖混合配水, 研究基质变化过程中生物

\* 国家自然科学基金资助. 批准号: 29637010 (Project Supported by the National Natural Science Foundation of China, numbered: 29637010) 和国家“九五”科技攻关项目, 批准号: 96-909-05-03  
作者简介: 吴立波(1968-), 男, 黑龙江人, 博士研究生, 现在南开大学环境科学与工程学院博士后流动站工作.  
收稿日期: 1999-03-23

自固定化技术对菌种高效降解 DMP 活性保持的作用.

1 材料与方法

1.1 DMP 菌驯化方法

取处理焦化废水的曝气池中污泥,以 DMP 为唯一碳源培养基进行间歇驯化3个月.

1.2 反应器及运行条件

采用合建式完全混合反应器,反应区体积 6.0L,沉淀区体积1.5L,反应区内投入桑德公司生产的 SNP 球形填料,投加率为18%(V/V).进水为 DMP 和葡萄糖混合配水,运行各阶段碳源变化如表1所示,同时投加适量的尿素和磷酸盐以补充氮和磷的需要.水力停留时间为 12h.

表1 反应器进水碳源阶段变化

阶段	时间/d	DMP /mg·L <sup>-1</sup>	葡萄糖 /mg·L <sup>-1</sup>
I	1~ 15	300	0
II	16~ 35	200	200
III	36~ 50	50	500
IV	51~ 65	0	600

1.3 污泥活性的测定

实验过程中主要考察菌种在各阶段降解 DMP 能力的变化,其测试方法为瓦呼仪法.待测菌种经0.9%生理盐水洗涤3次后,制成浓度(以 VSS 计)约3000mg/L 的菌悬液.配制 1000mg/L 的 DMP 溶液作为测试基质.反应时加入菌悬液和基质溶液各1.5mL.画出反应过程的相对比累积耗氧量曲线,过原点做曲线的切线求出初始比耗氧速率.

2 结果与讨论

2.1 反应器 COD 去除效果

由图1可见,在各阶段反应器 COD 去除率均达到90%以上,反应器对 DMP 和葡萄糖均有良好降解作用.葡萄糖引入时未接种其他菌种,但并没有引起出水 COD 的升高.这表明葡萄糖是一种易降解物质,DMP 降解菌虽未经葡

萄糖驯化,但可利用葡萄糖作为碳源,对葡萄糖有一定的降解作用.

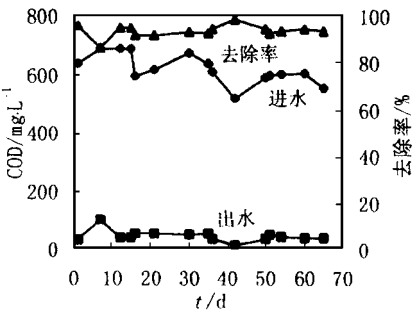


图1 反应器 COD 处理效果

2.2 反应器菌种浓度及泥龄

图2表明了各阶段运行稳定时反应器内悬浮相菌种(VSS)和附着相菌种(VAS)的浓度.实验过程中未人工排泥,通过测定反应器出水污泥浓度,算出各阶段反应器的悬浮相菌种泥龄和总量菌种(VTS)泥龄,如图3所示.当葡萄糖引入后,可观察到反应器中出现大量丝状物质,污泥膨胀十分严重,造成严重的污泥流失.由图2和图3可见此时悬浮相污泥龄很低,污泥浓度大幅度降低.当泥龄越小时,反应器内悬浮相污泥浓度越低,而附着相菌种受泥龄影响较小.第Ⅲ和第Ⅳ阶段悬浮相菌种泥龄回升,可能是此时反应器中污泥更加适应葡萄糖基质的结果.同时由于曝气量的增加,附着相菌种脱落量增加使反应器中附着相菌种量减少,也可能是悬浮相菌种浓度增加的原因.

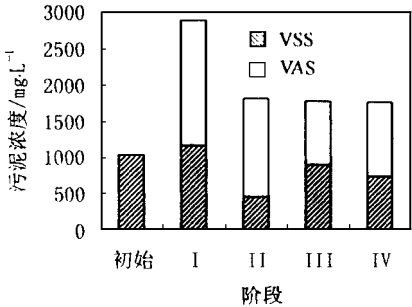


图2 反应器污泥浓度的变化

2.3 悬浮相与附着相菌种生物相比较

第I 阶段末期,反应器中污泥呈米粥状,乳

黄色,镜检发现悬浮相污泥和附着相污泥中都含有大量轮虫、漫游虫、豆形虫等微形动物,菌胶团边缘整齐,无菌丝出现,两相污泥的生物相近乎相同.当葡萄糖加入后,反应器中出现大量丝状物质,触感粘滑,有些丝状物一端附着在池壁上,但大多随出水流失.镜检发现悬浮相和附着相污泥中仍都存在很多轮虫,有很多不明椭圆物,但悬浮相污泥中含大量丝状物质,菌胶团疏松,无明显边缘,在高倍镜下观察可见丝状物逐渐从菌胶团中伸出,最终菌胶团遭到破坏.而附着相污泥中丝状物较少,菌胶团边缘整齐.轮虫的大量出现表明反应器中游离菌种较多,反应器内两相污泥均处于内源呼吸期.此时葡萄糖引入后刺激对其有较大降解能力的丝状菌大量繁殖,镜检结果表明,丝状菌主要存在于悬浮相菌种中,已经破坏了其菌胶团,而附着相菌种受到的影响较小.

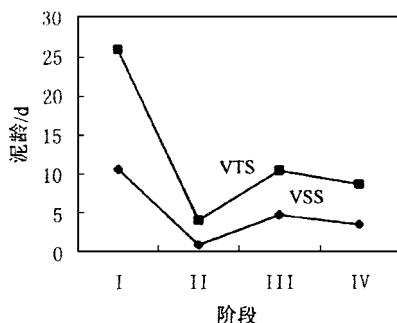


图3 反应器泥龄的变化

#### 2.4 两相菌种 DMP 降解活性的比较

每个阶段末期以瓦呼仪法分别测试两相菌种的 DMP 降解活性.图4和图5分别是反应器各阶段悬浮相和附着相菌种降解1000mg/L DMP 的比累积耗氧量( $O_2/VSS$ )曲线.各阶段两相菌种降解 DMP 的能力以初始比耗氧速率表示,如图6所示.悬浮相菌种在基质改变后 DMP 降解能力骤然降低,在阶段II 降解 DMP 比耗氧速率[单位时间内单位重量菌种的耗氧量  $O_2/(VS \cdot h)$ ]就由49.5降至4.0mg/(g·h),对应6h 比累积耗氧量由303降至39.6mg/g.而附着相菌种 DMP 降解能力变化较小,在阶段

II 比耗氧速率仅由64.1降至48.0mg/g,对应6h 比累积耗氧量由326降至267mg/g.

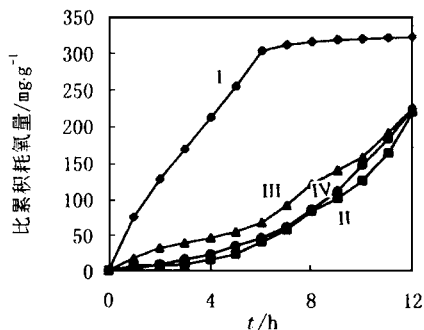


图4 悬浮相菌种降解 DMP 比累积耗氧量

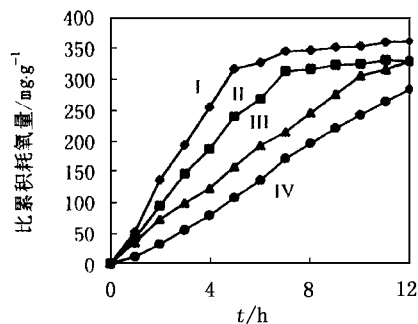


图5 附着相菌种降解 DMP 比累积耗氧量

当葡萄糖引入后,DMP 降解菌的生物酶活性可能发生改变,趋向于降解易降解基质.同时 DMP 负荷的降低,也使得菌种的 DMP 降解活性降低.因此在这种环境下反应器中两相菌种的 DMP 降解活性都有所降低.丝状菌的过度增殖引起悬浮相污泥膨胀,造成污泥流失,使泥龄大幅度降低.而 DMP 降解菌增殖较慢,泥龄越短,悬浮相菌种中 DMP 降解菌含量越少.比较图3和图6可以看出,泥龄越短,菌种的 DMP 比降解活性越低.对附着相菌种来说,由于载体表面限制菌种的增加主要依靠原菌种的增殖\*,菌种附着的前后是主要因素,而其增殖速度不是很重要,因此丝状菌无法形成优势大量繁殖.这样附着相菌种的 DMP 比降解活性受此因素影响不

\* 吴晓磊,投加介质提高活性污泥法处理性能的研究,北京:清华大学博士论文,1995.

大. 悬浮相菌种的 DMP 比降解活性在阶段III和IV略有回升, 这缘于附着相菌种的部分脱落, 使得悬浮相菌种保持一定的高效特性.

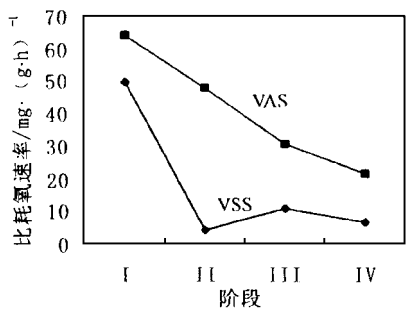


图6 两相菌种初始比耗氧速率的变化

2.5 不同时间投加填料上菌种活性比较

在实验过程中各阶段末期均补充空白填料, 在第IV阶段末测试其上附着相菌种的 DMP 降解活性, 如图7所示. 反应器中菌种都有可能

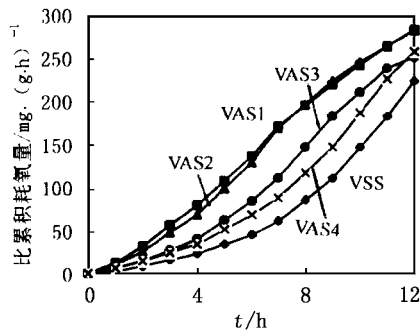


图7 阶段IV 各相菌种 DMP 比累积耗氧量

吸附在载体上, 镜检后期投入填料所附着的菌种, 丝状物明显多于前期投入填料所附着的菌

种. 比较图4和图7可见, 实验各阶段所投加填料上附着的菌种与上一阶段悬浮相污泥相比, DMP 降解活性相近或略有增高, 且其活性明显高于末期悬浮相菌种, 这表明所附着 DMP 降解菌得到较好增殖, 丝状菌在载体上未形成优势. 这可能是因为菌种附着后泥龄大大增加, DMP 菌能够大量增长的结果.

3 结论

(1) 当引入易降解基质葡萄糖后, 反应器内 DMP 降解菌种的 DMP 降解活性减弱.

(2) 自固定化后高效菌种 DMP 降解活性的保持得到增强. 菌种处于悬浮状态时, 由于降解易降解基质菌种快速增殖, 泥龄降低, 其中的高效菌种容易流失, 造成高效降解活性很快丧失; 而菌种自固定化后在载体上优先生长, 受快速增殖的杂菌影响较少, 能够保持一定的活性, 从而强化菌种高效活性的保持.

参考文献

1 王建龙等. 复合生物反应器处理废水的研究及进展. 工业水处理, 1997, 17(1): 58~ 60

2 Hogrefe W. Biotreatment of s-Triazine-containing wastewater in a fluidized bed reactor. Biotech. & Bioeng., 1996, 48: 1577~ 1587.

3 U lonska A et al. Degradation of quinoline by immobilized comamonas acidovorans in a three-phase airlift reactor. Biotech. & Bioeng., 1995, 46: 80~ 87.

4 林铸炉等. 普通活性污泥法系统曝气池中投加浮动填料提高硝化能力的研究. 环境科学, 1998, 19(1): 62~ 65.

5 王磊等. 固定化硝化菌去除氨氮的研究. 环境科学, 1997, 18(2): 18~ 20