

低温下曝气生物滤池内生物量变化¹⁾

谢曙光²⁾ 张晓健³⁾ 王占生³⁾

(²⁾ 北京大学环境学院环境科学系,北京,100871; (³⁾ 清华大学环境科学与工程系,北京,100084)

摘要 低温下(甚至低于 1 °C)异养细菌生物量仍能大量增加,但生物量的增加受生物可利用有机基质浓度的限制。虽然氨氮浓度不是曝气生物滤池内硝化细菌生物量增加的限制因子,但硝化细菌生物量的增加仍受低温的严重限制。低温对硝化细菌生物量增加比异养细菌生物量增加的限制作用更显著。

关键词 曝气生物滤池; 低温; 生物量; 基质浓度

中图分类号 X 172

生物膜是整个水处理构筑物的核心,良好生物膜是生物膜反应器稳定运行的基础。温度是影响生物膜性能的一个重要因素,温度的变化会引起生物膜活性和生物量的变化。桑军强利用曝气生物滤池处理三家店水库水的研究表明,水温的下降会引起填料上异养细菌生物量的降低^[1]。然而 Fu 等考察温度对好氧生物滤池去除污水中有机物影响时发现,温度的降低反而引起异养细菌生物量的增加^[2]。目前国内外对于生物膜反应器长期在同种低水温下运行时是否会引起填料上生物量的变化的报道较少,特别是水温持续低于 1 °C 时生物膜反应器填料上生物量的变化情况如何尚未见详细的报道。因此本文的主要目的是考察曝气生物滤池在低温下(平均值为 0.5 °C)运行时填料上的生物量的变化情况,同时对异养细菌生物量与硝化细菌生物量的变化情况作一比较。

1 试验概况

本试验在河北省怀来县永定河八号桥附近现场进行,试验装置由两级曝气生物滤池组成,分别称作 BAF I 和 BAF II,其中 BAF I 原来用于在低溶解氧下对永定河河水自养脱氮,整个滤池内部填料上的生物膜内优势菌为自养反硝化细菌,而 BAF II 原来用于在曝气条件下进一步去除有机物和氨氮,滤池底部填料层的生物膜优势菌为异养菌,滤池中上部填料层的生物膜优势菌为硝化细菌^[3]。滤池柱高 3 m,柱子直径 20 cm。滤料层净高 1.2 m,滤池中的填料为陶粒,粒径为 3~5 mm。整个试验装置安装于一农房内,由于试验条件的限制,只能用泵把适量原污水(永定河河水)注入储备水箱,再用储备水箱的水进行连续运行。

此时,永定河河水水温已降低至 0 °C,但由于水箱和曝气生物滤池系统放置在室内,因而每次冰下取水后到第二天换水期间,水箱内的水温会轻微的变化(0~1 °C),平均值为 0.5 °C。

1) 北京市重大科技攻关项目(9550610400-05-03)基金资助

收稿日期: 2003-08-14; 修回日期: 2003-11-26

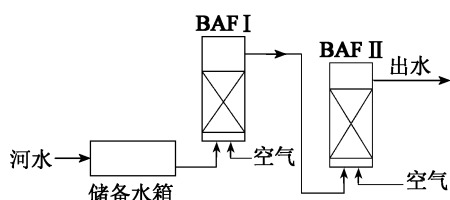


图 1 两级曝气生物滤池系统流程图

Fig. 1 Schematic diagram of two-stage BAF system

试验可以依次分为 3 个阶段: A 阶段(2001-12-10—2001-12-22), 通过使用暖炉加热室内空气和密封农房, 对储存在水箱内原水适当加热, 使水箱内的水温能在约 10 h 内缓慢地从 0 °C 升高至 5 °C, 然后基本保持在 5 °C, BAF II 出水没有排入室外, 而是回流至水箱, 周而复始地循环使用, 水箱内的水 3 天全部更换 1 次, 此阶段所用的水力负荷为 2 m/h; B 阶段(2001-12-23—2002-01-03), 停止使用暖炉加热室内空气, 而直接采用平均水温 0.5 °C 的水箱内储水进行通水挂膜, BAF II 出水直接排入室外而不再回流至水箱, 水箱内的水也每天更换 1 次, 此阶段所用的水力负荷也为 2 m/h; C 阶段(2002-01-04—2002-01-21), 也直接采用平均水温 0.5 °C 的水箱内储水进行通水挂膜, BAF II 出水直接排入室外而不再回流至水箱, 水箱内的水也每天更换 1 次, 此阶段所用的水力负荷为 4 m/h。整个试验期间, 永定河河水有机物和 NH_4^+-N 都很高(COD_{Mn} 约为 30~40 mg/L, NH_4^+-N 约为 15~30 mg/L), 此外, BAF I 和 BAF II 出水中的溶解氧浓度分别维持在 3 mg/L 和 4 mg/L 以上, 因而可以认为溶解氧浓度不是异养菌和硝化细菌生长的限制性因子。

2 生物量分析方法

取一定质量陶粒(20 g, 湿重)放置于 100 mL 具塞三角瓶中, 采用脂磷法来测定生物量^[4], 最终结果以 nmol P/g 陶粒表示, 1 nmol P 约相当于大肠杆菌(*E. coli*)大小的细胞 10^8 个。用于生物量分析的陶粒分别取自 BAF I 内距填料层 0.1、0.6 m 以及 BAF II 内距填料层 0.6 m 处。两级 BAF 柱内污染物沿水流方向变化规律及间隙试验表明, BAF I 内距填料层 0.1 m 处陶粒上生物膜的优势菌为异养菌, BAF I 内距填料层 0.6 m 处陶粒上生物膜的优势菌为异养菌和硝化细菌, 而 BAF II 内距填料层 0.6 m 处陶粒上生物膜的优势菌为硝化细菌(将另文发表)。

3 试验结果与讨论

3.1 低温下异养细菌生物量变化

BAF I 底部和中部填料层陶粒上生物膜在低温条件下生物量的变化情况如图 2 所示, 可以看出, A 阶段 BAF I 底部填料层陶粒上的生物量增加很快。原因可能如下: (1) 原水中的异养细菌个体对低温已有一定的适应, 且大部分时间所处水温仍然相对较高(约 5 °C), 因而仍能较好地生长和繁殖; (2) BAF I 内原有残存的自养生物膜对原水中的异养细菌有良好的吸附截留作用, 因而原水中的已适应低温的异养细菌能得到很好的累积; (3) 陶粒粒径较小, 比表面积大, 表面粗糙, 又具有微孔结构, 生物很容易附着; (4) 滤池内溶解氧较高(出水 DO 大于 3 mg/L), 可以认为不是异养菌生长的限制因子; (5) 异养菌的生长受生物可利用有机基质浓度的限制作用较小。

在 B 阶段虽然进水水温已经很低(平均为 0.5 °C), 但 BAF I 底部填料层陶粒上的生物量增加仍然较快。而在 C 阶段 BAF I 底部填料层陶粒上的生物量增加逐渐变缓, 这主要可能是由于陶粒上的生物量的增加引起异养菌的生长受生物可利用有机基质浓度的限制作用逐渐增强所致, 此外水力负荷的增加(从 2 m/h 提高到 4 m/h)增强了对生物膜的水力剪切作用, 不利于生物量的增加。

由图2还可看出,BAF I中距填料层底部0.6 m处陶粒上的生物量的增加量(由本文后面所述硝化生物膜的生物量增加规律可知,此处陶粒上的生物量增加主要是异养细菌生物量增加的结果)远远低于0.1 m处陶粒上的生物量的增加量。Horn等认为,生物膜厚度是由水力扰动条件和基质浓度共同决定的,但基质浓度是主要决定因子^[5]。由于曝气生物滤池在低滤速下属推流式反应器,有机物浓度随水流方向逐渐降低,因此虽然进水端处水力剪切作用较强,但此处填料层中陶粒上的生物量仍然相对较快。

综上所述,在低温条件下,甚至水温低于1℃时,生物可利用有机基质浓度不受限制时异养细菌生物量增加仍然很快,而生物可利用有机基质浓度成为限制因子时,异养细菌生物量增加虽然仍能有所增加,当增加缓慢。也就是说,与低温的限制作用相比,生物可利用有机基质浓度对异养细菌生物量增加的限制作用更显著。

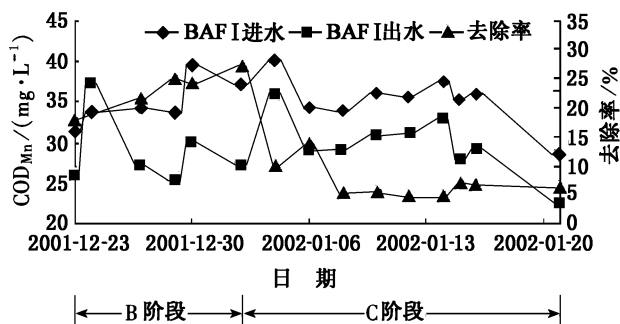


图3 B阶段和C阶段BAF I对有机物的去除

Fig. 3 Organic removal by BAF I during phase B and C

的去除明显降低,而在C阶段BAF I对COD_{Mn}的去除随时间变化缓慢增加,这也与图2中所示生物膜的生物量缓慢增长趋势一致。

3.2 低温下硝化细菌生物量变化

BAF II距填料层底部0.6 m处陶粒上生物膜(优势菌为硝化细菌)在低温条件下生物量的变化情况如图4所示,可以看出,在整个试验期间,硝化细菌生物量有所增加,但增加很缓慢。一般认为,生物膜反应器中,NH₄⁺-N低于1 mg/L时才成为硝化反应的限制因子。在整个试验期间BAF II出水NH₄⁺-N浓度都远远高于1 mg/L(A和B 2阶段BAF II出水NH₄⁺-N浓度高于2.5 mg/L,C阶段BAF II出水NH₄⁺-N浓度高于5 mg/L),因此可以认为在整个试验期间NH₄⁺-N浓度不是两级BAF系统内硝化反应的限制因子,也就是说NH₄⁺-N浓度不是硝化细菌生物量增加的限制因子,但硝化细菌生物量增加受低温的严重限制。

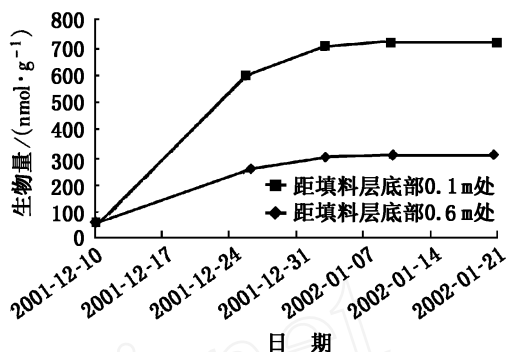


图2 BAF I底部和中部填料层陶粒上的生物量变化

Fig. 2 Changes of attached biomass on ceramic particles at bottom and middle parts of filling layer in BAF I

图3反映了直接采用平均水温为0.5℃的水箱内储水进行通水挂膜后BAF I对有机物去除情况。由图3可以看出,在B阶段BAF I对COD_{Mn}的去除随时间变化呈快速增加的趋势,这与图2中所示生物膜的生物量增长趋势一致,因此可以认为,BAF I对COD_{Mn}去除量的快速增加主要可能是滤池中陶粒上附着生物量快速增加的缘故。此外,由图3还可以看出,进水水力负荷提高后BAF I系统对COD_{Mn}

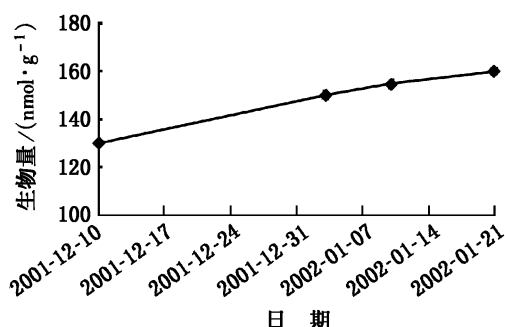


图 4 BAF II 中部填料层陶粒上的生物量变化

Fig. 4 Changes of attached biomass on ceramic particles at middle part of filling layer in BAF II

速率远远高于硝化细菌生物量增加量和增加速率,也就是说低温对硝化细菌生物量增加的限制作用更显著。

4 结 论

低温下生物可利用有机基质浓度不受限制时异养细菌生物量增加仍然很快,而生物可利用有机基质浓度成为限制因子时,异养细菌生物量增加虽然仍能有所增加,当增加缓慢;当 NH_4^+-N 浓度不是硝化细菌生物量增加的限制因子,硝化细菌生物量增加仍受低温的严重限制,硝化细菌生物量虽然有所增加,但增加很缓慢;相应基质浓度不受限制时,低温对硝化细菌生物量增加的限制作用更显著。

图 5 反映了直接采用平均水温为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水箱内储水进行通水挂膜后 BAF II 对氨氮去除情况。可以看出,在 B 阶段 BAF II 对氨氮的去除随时间变化呈少量增加的趋势,这与图 4 所示生物膜的生物量缓慢增长的趋势一致,因此可以认为,在 B 阶段 BAF II 对氨氮去除量的增加主要可能是滤池中硝化细菌生物量增加的缘故。由图 5 还可看出,进水水力负荷提高后 BAF II 系统对氨氮的去除明显降低,而在 C 阶段,虽然硝化细菌生物量有所增加,但 BAF II 对氨氮的去除随时间变化规律不明显,其原因尚不十分清楚。而综合图 2 和图 4 分析还可知,基质浓度不受限制时,低温下异养细菌生物量增加量和增加

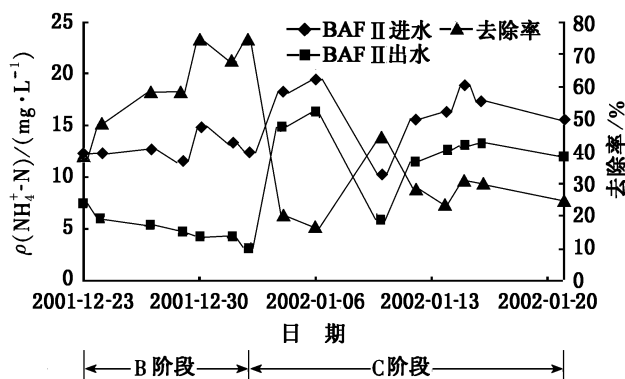


图 5 B 阶段和 C 阶段 BAF II 对氨氮的去除

Fig. 5 Ammonia removal by BAF II during phase B and C

参 考 文 献

- 1 桑军强. BAF 处理三家店水库水和磷与饮用水生物稳定性关系研究. [学位论文]. 北京:清华大学环境科学与工程系, 2002
- 2 Hu HY, Kiochi F, Kohei U. Effect of Temperature on the Reaction Rate of Bacteria Inhabiting the Aerobic Microbial Film for Wastewater Treatment. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1994, 78(1): 100~104
- 3 谢曙光, 张晓健, 王占生. 生物滤池系统内生化的作用机理综合研究. 环境科学学报, 2002, 22(5): 557~561
- 4 于鑫, 张晓健, 王占生. 饮用水生物处理中生物量的脂磷法测定. 给水排水, 2002, 28(5): 1~4
- 5 Horn H, Hemmel DC. Modeling Mass Transfer and Substrate Utilization in the Boundary Layer of Biofilm Systems. Wat Sci Tech, 1998, 37(4-5): 139~147

Biomass Change in Biological Aerated Filter at Low Temperatures

XIE Shuguang¹⁾ ZHANG Xiaoqian²⁾ WANG Zhansheng²⁾

(¹⁾ Department of Environmental Sciences, College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871;
²⁾ Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract The changes of attached heterotrophic- and nitrifying biomass in biological aerated filter (BAF) at low temperatures were investigated. At low water temperatures, even below 1 °C, heterotrophic biomass could increase greatly, however, the increase was inhibited by the availability of biodegradable organic substrate. For nitrifying biomass in BAF the ammonia concentration was not inhibitory, but its increase was seriously hampered by low temperature. The inhibitory effect of low temperature on nitrifying biomass was more pronounced than that on heterotrophic biomass.

Key words biological aerated filter; low temperature; biomass; substrate concentration

* * * * *

(上接 871 页)

续 表

奖励名称	等级	获 奖 项 目	获 奖 人	校内单位
教育部科技奖	2	关于同余数曲线 BSD 猜想的研究	赵春来	数学学院
		吸积盘理论与活动星系核物理模型	吴学兵 刘富坤	物理学院
		银、铜等金属簇合物及富勒烯配合物的合成和结构研究	金祥林 汤卡罗 唐有祺	化学学院
北京市科技奖	1	飞秒时间分辨光谱技术及其应用	龚旗煌 杨 宏 羌 笛 张铁桥 王树峰 黄文涛 李建良	物理学院
		锂离子二次电池正极材料钴酸锂的合成	其 鲁	化学学院
	2	卫星舱内高能粒子监测和空间辐射环境研究	肖 佐 邹积清 仲维英 邹 鸿 包尚联 徐萍芳	地空学院
		中国周边板块相互作用、俯冲带及对中国大陆构造运动的影响	臧绍先 宁杰远 吴忠良 周元泽 魏荣强 刘永岗 景志成	地空学院
		组织干部管理信息领域软件构造技术及应用系统	张世琨 陈 平 李恭元 张君福 胡致斌	软件工程 国家工程 研究中心
		通过科学交通管理,改善北京交通环境	谢绍东	环境学院

说明：获奖人括号内数字表示个人排名。

(科学研究部 张 铭 供稿)