

折流曝气生物滤池的微生物特性研究

严子春^{1,2}, 何强³, 龙腾锐³, 张涵³, 张国珍¹

(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 寒旱地区水资源综合利用教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 考察了折流曝气生物滤池(BBAF)内的生物膜和微生物种群的分布特征。结果表明: BBAF各单池的比质生物量和比面生物量均随运行时间的增加而增加; 沿流程方向各单池的比面生物量逐级递减, 而比质生物量呈N字型变化; 各单池的生物膜活性沿流程方向也呈N字型变化; 由于各单池之间存在浓度梯度, 可形成各自的微生物优势种属, 有利于BBAF达到最佳运行效果。

关键词: 折流曝气生物滤池; 微生物量; 生物膜活性; 微生物种群分布

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2011)13-0073-04

Study on Microbial Characteristics in Baffled Biological Aerated Filter

YAN Zi-chun^{1,2}, HE Qiang³, LONG Teng-rui³, ZHANG Han³, ZHANG Guo-zhen¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Engineering Research Center for Cold and Arid Regions Water Resource Comprehensive Utilization < Ministry of Education >, Lanzhou 730070, China; 3. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The spatial-temporal changes of biofilm and microorganism population in baffled biological aerated filter (BBAF) were investigated. The results indicate that biomass per unit area and biomass per unit mass of each filter in BBAF are increased with increasing run time. The biomass per unit area of each filter is decreased gradually along water flow, while the biomass per unit mass of each filter shows N shape change. The biofilm activity of each filter also shows N shape change. Because of concentration gradient, dominant microorganism population can be formed along the water flow in different filters, which improves treatment effect of BBAF.

Key words: baffled biological aerated filter; microbial biomass; biofilm activity; distribution of microorganism population

鉴于传统曝气生物滤池(BAF)存在易堵塞、对进水悬浮物浓度的要求较高($SS \leq 60$ mg/L)、运行周期较短(一般1~2 d就需要进行反冲洗)等缺

点^[1,2],笔者所在课题组开发了折流曝气生物滤池(BBAF),整池由隔墙分成的若干上向流和下向流单池交替组合串联而成,单池中可使用不同类型的

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0966); 甘肃省财政厅项目(620015); 兰州交通大学“青蓝”人才工程基金资助项目(QL-05-05A)

填料,填料粒径级配沿程由大到小,不同单池可形成不同的功能分区^[3]。运行结果表明,BBAF可有效缓解堵塞问题,提高了整个滤层的纳污能力,反冲洗周期可达6~7 d,且具有稳定的处理效果^[4]。笔者进一步研究了BBAF内生物膜和微生物种群的时空分布特征,以便更合理地设置功能分区、优化设计参数,为其工程应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置

BBAF装置如图1所示,由7个单池(沿水流方向依次记作1#~7#池)组成。整池尺寸为1 528 mm×580 mm×1 840 mm,单池尺寸为200 mm×580 mm×1 500 mm。为避免水头损失的逐级积累,3个水流翻越隔板的高度逐级递减,高度差为50 mm。1#池采用由重庆大学开发的酶促填料(密度为1.56 g/cm³),粒径为15~20 mm;2#~7#池采用白银斜发沸石填料(密度为2.16 g/cm³),其中2#和3#池的填料粒径为8~15 mm,4#、5#和6#池的填料粒径为5~8 mm,7#池的填料粒径为3~5 mm。单池的滤层厚度均为800 mm。

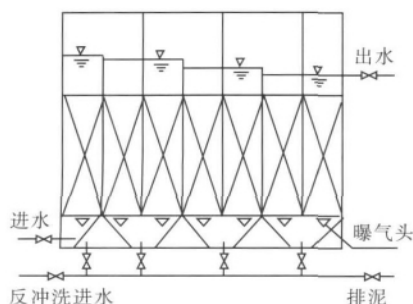


图1 BBAF装置

Fig.1 Schematic diagram of BBAF

1.2 试验用水与运行条件

试验在重庆市城南污水处理厂进行,试验用水为该厂初沉池出水,具体水质如下: pH值为6.7~7.9, COD、BOD₅、总氮、氨氮、硝态氮、总磷和SS分别为(206~627)、(90.7~243)、(50.0~80.7)、(49.4~55.2)、(0~1.5)、(4.15~6.94)和(101~199) mg/L。试验期间,水温为(22±2)℃,水力负荷为1.5 m³/(m²·h),气水比为8:1,气水联合反冲洗时的气冲强度为6 L/(m²·s)、水冲强度为8 L/(m²·s)。

1.3 分析方法

COD采用重铬酸钾比色法测定,其余水质指标

均采用国家标准方法测定;生物膜活性用微生物耗氧速率(OUR)来表征,采用YSI耗氧速率测定仪测定;硝化菌和亚硝化菌数量采用MPN法测定^[5];微生物相通过MOTIC生物显微镜观察,微生物量采用可挥发灰分重量法^[6]测定。为便于分析,笔者将单位质量填料上的微生物量定义为比质生物量,将填料单位表面积上的微生物量定义为比面生物量。

2 结果与分析

2.1 微生物量的时空分布特征

在BBAF反冲洗后的第1、3、6天,分别从各单池中取出一定量的填料,测定比质生物量,结果如图2所示。

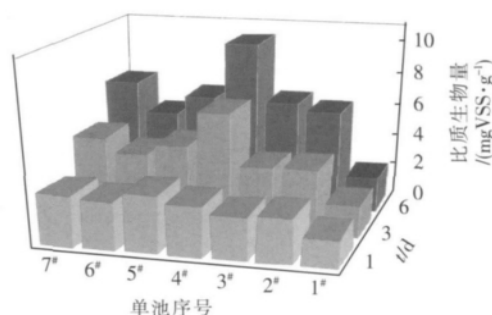


图2 比质生物量的时空变化

Fig.2 Spatial-temporal diagram of biomass per unit mass

由图2可知,在时间序列上,单池中的比质生物量随运行时间的增加都有所增加,只是程度不同而已。1#池为厌氧区,主要起水解酸化作用,厌氧微生物生长缓慢,比质生物量较小。第3天开始,测得4#池的比质生物量最大,5#、6#池的比质生物量与4#池相比逐级下降,而7#池的比质生物量又有上升趋势。因此在空间序列上,除反冲洗后的第1天外,运行周期内的比质生物量总体呈上升—下降—上升的N字型变化趋势。

滤池的处理效率与填料的粒径和比表面积直接相关^[7],对微生物量会产生影响,一般填料粒径越小、比表面积越大,单位填料上的微生物量就越多。为了考察填料粒径和比表面积对微生物量的影响,将比质生物量换算成比面生物量,比面生物量可替代生物膜厚度作为研究生物膜的一个参数。换算公式如下:

$$M' = \frac{\rho M \Psi D}{6} \quad (1)$$

式中 M' ——比面生物量,mgVSS/cm²

M ——比质生物量,mgVSS/g

ρ ——填料密度, g/cm^3

ψ ——球形度系数,取0.8

D ——填料平均粒径, cm

将换算得到的比面生物量作时空分布图,如图3所示。由于1#池为厌氧水解区,厌氧微生物生长缓慢,不与其他好氧单池比较。从图3可以看出,沿流程方向,2#~7#池的比面生物量逐级递减规律非常明显,与污染负荷沿流程方向由高到低的顺序完全一致。2#、3#和4#池中营养物质比较充足,微生物生长迅速,比面生物量较大,说明生物膜较厚;至5#池,污水的有机物浓度已较低,异养菌的生长受限,自养菌开始占优势,但它们的生长速率远小于异养菌的,故测得的比面生物量较低,生物膜较薄。由此可知,由2#池至7#池的生物膜逐级变薄。

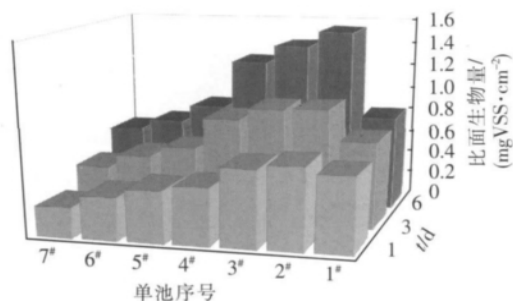


图3 比面生物量的时空变化

Fig. 3 Spatial-temporal diagram of biomass per unit area

2.2 生物膜活性沿程变化规律

试验中生物膜活性用耗氧速率(OUR)来表征,反洗后运行2d取样测定。由于1#池为厌氧区,所以从2#池开始取样,2#、3#、4#、5#、6#、7#池的取样位置对应的填料厚度分别为0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8m。测定结果表明,生物膜活性沿程的变化规律为先升高再降低后又升高。2#池中的生物膜活性较低,3#和4#池中的最高,OUR分别为41.8和40.3 $\text{mgO}_2/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$;而5#池的生物膜活性又降至最低,OUR为23.2 $\text{mgO}_2/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$;随后在6#和7#池中生物膜活性又显著升高,OUR分别为27.1和35.4 $\text{mgO}_2/(\text{gVSS} \cdot \text{h})$ 。

城市污水的有机物浓度总体来说较低,有机物含量是微生物生长增殖的控制因素。0.8~1.6m填料层处于厌氧池后的第一个好氧单池(2#池)中,有机物充足,微生物增长迅速,耗氧速率较高;随着有机物浓度逐渐降低,3#和4#池的微生物数量逐渐减少,耗氧速率逐渐降低;从5#池开始,有机物浓度

降低后硝化菌不再受抑制,其数量逐渐增加,耗氧速率又逐级升高。将生物膜活性的变化规律与图2中第3和第6天的比面生物量空间变化规律进行对比,可以发现两者基本一致,都为上升—下降—上升的N字型变化趋势。

2.3 微生物种群的时空分布特性

2.3.1 滤池的运行周期与微生物种群变化

曝气生物滤池周期性的反冲洗过程对微生物种群起着重要的生态调控作用,致使反应器内微生物的种群结构和个体数量发生周期性的变化^[8]。BBAF滤池在每个运行周期之初,生物膜较薄,随后由于微生物的增殖,生物膜不断增厚,逐渐成熟,处理效果趋于稳定,生物膜中的生物相也逐渐稳定,菌胶团结构紧密。以2#和3#池为例,起初观察到较多的滴虫、变形虫和漫游虫;稳定后占优势的原生动物以着生型纤毛虫为主,如小口钟虫、累枝虫、集盖虫等,同时也存在少量的游泳型纤毛虫,如草履虫、豆形虫、漫游虫、匍匐型的游仆虫和钟虫游泳体等;在运行周期的后期,观察到了较多具有高营养水平的轮虫、线虫、红斑瓢体虫等后生动物,此时,生物膜较厚,它们的运动可使生物膜松动,促进了生物膜的脱落和更新。同时,也说明滤池中生物膜中的食物链比较发达,有利于减少污泥产量。

2.3.2 微生物种群的沿程分布

由于1#池为厌氧区,在镜检中观察到的微生物个体小、活动能力弱,不易辨认,故未纳入分析范围。试验中主要在2#~7#池上部取填料进行镜检观测生物膜中的微生物情况,以考察BBAF滤池中微生物种群的沿程分布特点。结果表明,2#和3#池中的生物膜呈深褐色,观察到大量指状菌胶团,丝状菌较多;鞭毛虫、肉足虫、游泳型纤毛虫数量较多,为主要微生物类群;在3#池中还出现了少量的着生型纤毛虫。4#和5#池中的生物膜呈褐色,着生型纤毛虫数量众多,为主要微生物类群,如吸管虫、钟虫、累枝虫、盖虫等;在5#池中还观察到了线虫和轮虫等微型后生动物。6#和7#池中的生物膜呈浅褐色,表壳虫、着生型纤毛虫数量较多,为主要微生物类群;另外测得6#和7#池中的亚硝化菌和硝化菌数量较多,两池中单位体积填料上的硝化菌数量分别为 9.0×10^4 和 6.61×10^4 cfu/cm^3 ,亚硝化菌数量分别为 9.0×10^6 和 9.26×10^5 cfu/cm^3 。

BBAF在整体上表现为推流态^[9],各单池之间

存在明显的浓度梯度,污染物负荷逐级递减,这可能与各单池中微生物种群分布特点有关。2[#]和3[#]池的有机负荷较高,存在大量以有机物为食的鞭毛虫、肉足虫,同时可能也滋生了大量分解有机物的细菌;4[#]和5[#]池中的有机物浓度降低,但其中存在的大量细菌为着生型纤毛虫提供了食物,因此钟虫、吸管虫、累枝虫、盖虫等数量众多;随着有机物浓度的进一步降低,6[#]和7[#]池中表壳虫属微生物显著增多,硝化菌数量较多,硝化能力增强。

由此可见,不同滤料厚度处的有机负荷不同,微生物种群也有所不同,各单池中可形成不同的优势菌群,此规律与须藤隆一提出的生物膜中出现的微生物与BOD负荷有很大的相关关系的观点一致^[9]。适应水质后的优势菌群具有各自的最佳生长增殖条件,各自获得最快的污染物降解速度,有利于BBAF达到最佳运行效果。

3 结论

① BBAF中各单池的比质生物量均随运行时间的增加而增加,但增加程度不尽相同;在空间序列上,除反冲洗后的第1天外,沿流程方向各单池的比质生物量总体呈上升—下降—上升的N字型变化趋势,而比面生物量逐级递减,与污染物负荷沿流程方向的变化趋势一致;好氧区各单池的生物膜活性沿流程方向也呈N字型变化趋势。

② BBAF中的微生物种群和个体数量在单个周期内随运行时间的推移而发生一定的变化;由于

各单池之间存在浓度梯度,可形成各自的优势菌群,非常有利于BBAF中微生物新陈代谢功能的充分发挥和污染物的降解。

参考文献:

- [1] 齐兵强,王占生. 曝气生物滤池在污水处理中的应用[J]. 给水排水,2000,26(10):4-8.
- [2] Hidaka T, Tsuno H, Kishimoto N. Advanced treatment of sewage by pre-coagulation and biological filtration process[J]. Water Res,2003,37(17):4259-4269.
- [3] 严子春,何强,龙腾锐,等. 折流曝气生物滤池的特征与处理效能试验研究[J]. 环境工程学报,2008,2(10):1327-1331.
- [4] 张涵,龙腾锐,严子春,等. 新型折流曝气生物滤池处理城市污水[J]. 中国给水排水,2005,21(4):40-42.
- [5] 马放,任南琪. 污染控制微生物学实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [6] 刘雨,赵庆良,郑兴灿. 生物膜法污水处理技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [7] Moore R, Quarmby J, Stephenson T. The effects of media size on the performance of biological aerated filters[J]. Water Res,2001,35(10):2514-2522.
- [8] 邱立平,马军. 曝气生物滤池的生物膜及其微生物种群特征[J]. 中国环境科学,2005,25(2):214-217.
- [9] 须藤隆一. 水环境净化及废水处理微生物学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988.

E-mail: yanzichun@mail.lzjtu.cn

收稿日期:2010-12-21

· 信息 ·

江苏省环境保护产业协会农村及分散污水治理专门委员会在南京成立

2011年6月3日,江苏省环境保护产业协会农村及分散污水治理专门委员会在南京成立。省环保厅副厅长、省环保产业协会会长姚晓晴等出席了会议,副秘书长鲍荣熙主持会议,各市环保局领导及十多家从事农村污水治理的企业参加了会议。

在会议上,副会长兼秘书长周迁宣读了政府批文,并通过选举确定苏州嘉净环保科技股份有限公司为首届专委会主任委员单位、无锡康霸环保设备有限公司和江苏省新源环保有限公司为副主任委员单位,另外还通过了江苏省环境保护产业协会农村及分散污水治理专门委员会章程和行业自律规范守则。最后,各参会代表就如何发挥专委会的作用提出了很多宝贵意见,为下一步工作的顺利进行开好了头。

目前,国务院高度重视新农村建设,我省16个示范县(市、区)正在实施连片整治,农村污水治理的市场很大,专委会的成立有利于团结有实力的企业,优势互补,规范市场,形成合力,共同发展,为改善农村水环境作贡献。

(苏州嘉净环保科技股份有限公司 供稿)