

不同载体菌-藻生物膜处理农家乐污水的研究

许伟¹, 崔康平¹, 许为义¹, 孙鹏², 陈鸿汉²

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 中国地质大学<北京>
水资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: 将生物接触氧化填料(组合填料和弹性立体填料)作为菌-藻生物膜系统的载体, 来处理某农家乐生活污水。结果表明, 两种填料的菌-藻生物膜系统对 COD、 NH_4^+ -N、TN 和 TP 都有很好的去除效果, 其中, 组合填料的菌-藻生物膜系统对 COD 的去除较为明显, 去除率高达 94.8%, 弹性填料的菌-藻生物膜系统对 NH_4^+ -N、TN 和 TP 的去除较为突出, 最高去除率分别可达到 94.7%、93.6% 和 91.3%。综合对比, 弹性立体填料的菌-藻生物膜系统在处理当地农家乐生活污水方面更有优势, 且处理效果稳定。

关键词: 农家乐生活污水; 菌-藻生物膜; 组合填料; 弹性立体填料

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)03-0062-04

Bacteria/Algae Biofilm with Different Carriers for Farmhouse Sewage Treatment

XU Wei¹, CUI Kang-ping¹, XU Wei-yi¹, SUN Peng², CHEN Hong-han²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The farmhouse sewage was treated by the bacteria/algae biofilm systems with biological contact oxidation media. When combined packing and elastic packing were used as media respectively, the bacteria/algae biofilm systems had good removal efficiencies of COD, NH_4^+ -N, TN and TP. The bacteria/algae biofilm system with combined packing could more effectively remove COD, with the removal rate of 94.8%. The bacteria/algae biofilm system with elastic packing could more effectively remove NH_4^+ -N, TN and TP, with removal rates of 94.7%, 93.6% and 91.3%, respectively. After comprehensive consideration, the bacteria/algae biofilm system with elastic packing had certain advantage in the treatment of farmhouse sewage, with stable treatment effect.

Key words: farmhouse sewage; bacteria/algae biofilm; combined packing; elastic packing

由于受南水北调水源区和城镇化建设双重因素的影响, 汉江库区上游区域将旅游作为当地经济支柱, 农家乐餐饮休闲业发展迅猛, 但当地排水管网和污水处理设施建设尚不健全, 导致大量生活污水和

生活垃圾被直接排入河道, 对下游水源区的水质安全构成威胁, 采取有效措施治理分散的农家乐生活污水是当前的一项迫切任务。菌-藻生物膜技术是目前国际上的研究热点之一, 已在各种污水处理中

得到广泛的应用,主要利用藻类和细菌两类生物之间的协同作用来净化污水,目前研究较多的是在污水厂尾水的深度处理和天然水体富营养化治理等方面,而作为主体工艺处理城镇生活污水的研究报道较少^[1,2]。笔者针对百二河沿岸农家乐生活污水的处理,选取组合填料及弹性立体填料两种常规填料来研究菌-藻生物膜在不同填料上的生长情况以及水质净化效果,进一步探讨其实用性和经济性,旨在为分散点源污水的有效处理提供技术支持。

1 试验部分

1.1 试验水质

试验用污水取自汉江支流神定河的上游河段百二河沿岸农家乐化粪池的出水(经过简单的稀释),污水水质如下:COD为116.3~130.2 mg/L, TN为18.3~21.2 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为14.7~16.4 mg/L, TP为1.32~1.56 mg/L。

1.2 试验装置

菌-藻生物膜试验装置由2.5 m×0.3 m×0.8 m(长×宽×高)的4个平行水槽组成,有效容积均为0.525 m³。为模拟天然湖泊的光照特点,水槽用不锈钢材料制成,隔绝侧面光照。分别填充组合填料和弹性立体填料,填充高度为0.5 m,其中,弹性立体填料每根长0.5 m,组合填料每根5个盘片,每个水槽布置填料40根。水槽放在有阳光的河道边。

1.3 试验方法

试验分为4组,两组布置组合填料,另两组布置弹性立体填料。首先将采集来的河道底泥分别加入到水槽中,再缓慢加入农家乐污水,加入时尽量不扰动沉积物。静置1 d后,再将填料布设到水槽中,并用蠕动泵连续进水,挂膜期间每隔4 h通过漩涡式气泵向水中曝气1 h,曝气量控制在1 m³/h,直至生物膜成型后停止曝气(大概10 d),进入正式试验阶段。试验期间温度为15~28℃(24.1℃),其他参数如表1所示。

表1 试验参数设置

Tab. 1 Experimental parameters

系统编号	填料种类	HRT/ d	进水流量/ (L·h ⁻¹)	水力负荷/ (m ³ ·m ⁻² ·h ⁻¹)
1	弹性填料	2	10.94	0.015
2	弹性填料	1	21.88	0.029
3	组合填料	2	10.94	0.015
4	组合填料	1	21.88	0.029

试验期间每5 d取一次水样,测定COD、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、DO浓度及pH值和温度;并采集4个系统的生物膜样品,测定异养菌、藻类和叶绿素a含量。

1.4 分析项目与方法

DO:便携式溶解氧测定仪,COD:重铬酸钾法, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$:纳氏试剂分光光度法,TN:紫外分光光度法,TP:钼锑抗分光光度法,叶绿素a含量:紫外分光光度法,异养菌数量:营养琼脂培养-稀释平板计数法,藻类数量:镜检计数法,藻类多样性指数:Margalef指数法。

2 结果与讨论

2.1 载体外观的变化

随着时间的延长,水槽中填料的外观呈现出不同的变化,系统1和2的载体(弹性立体填料)外观呈现淡灰色→淡黄色→黄褐色→黄绿色的变化过程,系统3和4的载体(组合填料)外观呈现白色→淡黄色→黄绿色→灰绿色的变化过程。系统3和4的生物膜先于系统1和2由点状分布转变到均匀分布。从生物膜外观来看,4个系统的生物膜均出现菌-藻共生现象,且弹性立体填料系统中的藻类较组合填料系统的丰富。

2.2 DO浓度的变化

4个系统中的DO浓度均呈先逐渐降低而后趋于稳定的变化趋势。初始阶段DO浓度较高,这是由于藻类光合作用放氧所致;随着时间的延长,载体上的生物膜慢慢生长,藻类的光合作用和菌类的呼吸作用达到动态平衡,使DO浓度稳定在一定水平。试验期间,4个系统的DO浓度维持在1.7~6.1 mg/L的较高水平,系统1和2中的DO浓度略高于系统3和4。一方面,由于弹性立体填料类似水草,透光性好,易于藻类生长并通过光合作用放出氧气,而组合填料在水中易凝结,不易分散,藻类较少,菌群生长耗氧导致DO浓度偏低;另一方面,填料的材质和比表面积的差别使各组产生的生物膜量也不一样,作用方式也各异。

2.3 COD浓度的变化

如图1所示,在试验初期各系统的COD浓度均大幅度下降,主要是由刚形成的生物膜的吸收作用、载体吸附及自然沉降所致。在第25天时系统1的COD浓度略有回升,而其他3个系统的COD浓度持续下降,没有出现太大的波动,观察发现,系统1中

的藻类生长速度最快。4个系统的COD浓度最终趋于稳定,出水COD浓度高低顺序为系统2 > 系统1 > 系统4 > 系统3。4个系统的出水COD浓度均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,其中系统3对COD的去除效果最好,出水COD浓度达到了GB 3838—2002的Ⅱ类标准,即采用组合填料、HRT为2 d的菌-藻生物膜系统对COD的去除效果最佳。

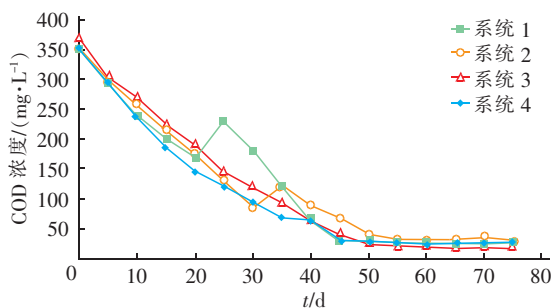


图1 COD浓度的变化

Fig. 1 Change of COD concentration

2.4 TN和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度的变化

4个系统的TN和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化趋势与COD浓度变化趋势类似。至试验后期,出水TN浓度及其去除率都基本稳定(如图2所示),说明生物膜的硝化作用、反硝化作用和光合作用三者达到动态平衡。对TN的去除主要通过微生物硝化和反硝化作用来实现,其中生物膜的外层为好氧层,进行硝化作用,而且藻类进行光合作用可为生物膜外层的好氧细菌提供 O_2 ,促进了硝化作用;内层为缺氧层,进行反硝化作用,将 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 转化成 N_2 释放到水体外,藻类也将 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 转化为自身所需物质,使得 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度进一步降低^[3,4]。

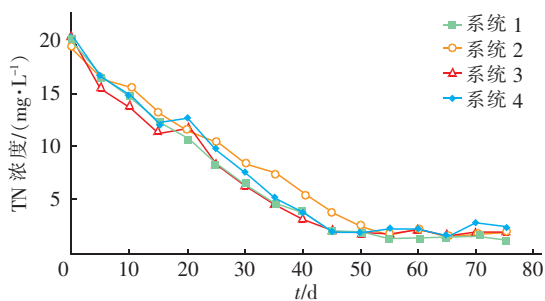


图2 总氮浓度的变化

Fig. 2 Change of TN concentration

由图2可以看出,系统1对TN的去除效果最好,其次是系统3、系统2、系统4,与DO浓度高低顺

序一致,DO浓度增加将提高溶解氧对生物絮体的穿透力,从而促进了硝化作用,而外层生物膜的增加使膜内的溶解氧浓度降低,提高反硝化速率,两者的共同作用促进了TN的降解。系统1、2和3的出水TN和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度均可达到GB 3838—2002的Ⅳ类标准。

2.5 TP浓度的变化

如图3所示,TP浓度逐渐降低,这是由填料的吸附、磷的物理沉降和生物膜降解作用所致。另外,在相同的HRT下,弹性立体填料对TP有更高的去除率,主要因为弹性立体填料在水中呈立体均匀排列辐射状态,在有效区域内能全方位均匀舒展布满,使水、气、生物膜得到充分接触,生物膜不仅能均匀地附着在每根丝条上,保持良好的活性和空隙可变性,而且在试验中比表面积会越来越大,能进行良好的新陈代谢,从而提高了生物膜对TP的去除作用。试验运行稳定后,系统1的出水TP浓度明显低于其他3个系统,达到了GB 3838—2002的Ⅲ类标准,且TP去除率高达91.3%;系统2、3和4的出水TP浓度均达到了GB 3838—2002的Ⅳ类标准。

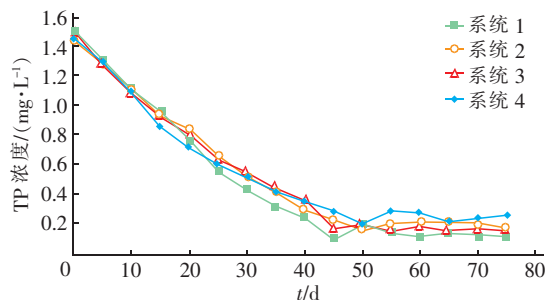


图3 总磷浓度的变化

Fig. 3 Change of TP concentration

2.6 叶绿素a含量的变化

为对比菌-藻生物膜系统在不同填料和水力停留时间条件下藻类的生长繁殖情况,每10 d监测一次系统中的叶绿素a含量。结果表明,系统1中的叶绿素a含量增加趋势最为明显,在第50天时达到最高,为332.1 mg/L。据此可知,采用弹性立体填料、控制水力停留时间为2 d时菌-藻生物膜系统中的藻类长势最好。

2.7 异养菌和藻类的变化

为了更好地反映生物膜的整体情况,采集4个系统的生物膜样品进行检测。菌-藻共生系统中,藻类利用水中的碳、氮、磷等化合物合成自身物质并

释放出氧气,菌类(异养菌)利用氧气将污染物分解转化为二氧化碳、氮、磷等物质,促进藻类的生长繁殖^[5]。因此生物膜上的藻类和异养菌的变化能直接反映水质情况。

对 4 个系统中填料上的异养菌进行平板计数,结果表明,随着时间的增加,异养菌数量逐渐增加,到 35 d 左右,4 个系统中的异养菌数量相继达到稳定,约为 10^{11} CFU/m³,异养菌数量高低顺序为系统 3 > 系统 4 > 系统 1 > 系统 2,这与 4 个系统出水 COD 浓度的高低相呼应。藻类的变化情况,用 Margalef 多样性指数 D 表示,它能客观反映出水水质变化情况,即 D 值越高,水质越好。表 2 给出了 4 个系统在不同阶段藻类多样性指数的变化情况,其中,阶段 1 为 1~25 d,阶段 2 为 26~50 d,阶段 3 为 51~75 d。

表 2 各阶段藻类多样性指数
Tab. 2 Diversity index of algae in every stage

系统编号	阶段	种类	数量/ (个·mL ⁻¹)	多样性指数 D
1	1	3	2.37×10^5	0.16
	2	6	1.35×10^4	0.53
	3	8	3.74×10^3	0.85
2	1	3	1.88×10^5	0.16
	2	5	1.75×10^4	0.41
	3	7	2.26×10^3	0.78
3	1	3	2.09×10^5	0.16
	2	6	1.67×10^4	0.51
	3	7	2.15×10^3	0.78
4	1	2	1.63×10^5	0.08
	2	4	2.02×10^4	0.30
	3	6	1.85×10^3	0.67

由表 2 可知,在各阶段中系统 1 的藻类多样性指数均最高,说明系统 1 对污水的处理效果最好。由此也表明,与组合填料相比,弹性立体填料在水中呈立体、均匀排列辐射状态,比表面积大,更有利于藻类的生长。在整个试验阶段,4 个系统中的藻类均以硅藻门占优势,蓝藻、绿藻和裸藻也有出现。

3 结论

① 采用两种不同填料的菌-藻生物膜系统对农家乐生活污水都有较好的处理效果。其中,采用组合填料的菌-藻生物膜系统对 COD 的去除效果

最佳,高达 94.8%;采用弹性立体填料的菌-藻生物膜系统对 NH₄⁺-N、TN 和 TP 的去除效果较好,最高去除率分别为 94.7%、93.6% 和 91.3%。

② 针对当地污水水质及填料性质,建议选用填充弹性立体填料的菌-藻生物膜处理系统。

③ 菌类和藻类在水体净化过程中的协同作用不容忽视,将菌类和藻类有效结合起来,可提高污染物的降解效率,且具有投资省、运行成本低、环境效益好等优点。

参考文献:

[1] 谢丹平,江栋,刘爱萍,等. 小翠湖的生态修复工程研究[J]. 中国给水排水,2009,25(7):17-21.
[2] 刘军,谢丹平,刘思明,等. 自流式复合生态滤床用于城市河道水质净化研究[J]. 中国给水排水,2009,25(5):37-40.
[3] 冉飞亚,何淑英,徐亚同. 生物接触氧化修复景观水的填料挂膜试验研究[J]. 中国给水排水,2010,26(1):99-105.
[4] 牛曼,张小平,王秀,等. “菌藻-菌”系统处理高浓度有机废水的研究[J]. 环境工程学报,2010,4(8):1819-1822.
[5] 刘明元,李晓霞,何业俊,等. 村镇污水原位生态修复示范工程及减排分析[J]. 中国给水排水,2012,28(4):49-52.



作者简介:许伟(1990-),男,安徽肥东人,硕士研究生,研究方向为水污染控制技术。
E-mail:497108927@qq.com
收稿日期:2015-03-05