

动力辅助活性炭纤维生物膜帘富营养化 水体修复实验研究

廖娟,金腊华

(暨南大学环境工程学院,广东省高校水土环境毒性污染物防治与生物修复重点实验室,广东 广州 510632)

摘要:为寻求富营养化水体原位修复新技术,采用动力辅助活性炭纤维生物膜帘,通过自然挂膜的方式,进行了富营养化水体的修复实验。结果表明,在水温为25~30℃的条件下,该生物膜帘对 COD_{Mn} 、 NH_3-N 、TN和浊度有较好的去除效果, COD_{Mn} 从9.62 mg/L下降到3.5 mg/L, NH_3-N 、TN分别从0.93、5.18 mg/L下降到0.28、1.25 mg/L,浊度从75 NTU下降到4 NTU,最大去除率分别可达到63.6%、69.6%、76%和94.5%;对TP的去除效果较差,质量浓度从0.25 mg/L下降到0.19 mg/L,去除率为22.9%,所测指标均能满足GB 3838—2002的IV类标准及以上。水体综合营养状态指数由71.86下降为53.54,水质由重度富营养化向轻度富营养化转变。

关键词:活性炭纤维;自然挂膜;富营养化;生物膜帘

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2014)10-0091-004

为改善水体富营养化状况,有必要采取一定的净化措施,去除水体中的COD、TN、TP等污染物,对水体进行原位修复。目前国内外对富营养化水体的修复大多数采用物理修复法、化学修复法、生物修复法和生态修复法,所采取的主要方法有曝气充氧法、化学沉淀法、水生植物修复法、水生动物修复法、湿地系统法、生物浮床、微生物修复法和组合生态修复法等^[1-9]。其中生物修复法因处理成本低、效率高及与生态环境相容等优点,得到广泛重视和应用^[10]。生物膜法采用天然材料或人工合成材料为载体,使微生物群体呈膜状附着于载体表面上,通过与污水接触,生物膜上的微生物摄取污水中的有机物作为营养并加以同化,从而达到水体净化的目的。

迄今为止,采用活性炭纤维作为生物膜载体的研究主要针对突发性污染水体、微污染水体、工业废水等,用于修复富营养化水体的研究较少^[11-14]。笔者采用浮床式活性炭纤维生物膜帘,在动力辅助水体微循环条件下,考察该生物膜帘对富营养化水体的修复效果,旨在为水体修复找到一种新技术。

1 材料与方法

1.1 实验装置

实验中生物膜装置共2个,反应器采用的是容量为55 L的百纳箱1个。生物膜装置以泡沫塑料板为漂浮载体;以铁丝做成长宽高分别为15 cm×5 cm×10 cm的框架;用比表面积为1 500 m²/g、厚度为3 mm的粘胶基活性炭纤维毡作为生物膜载体缠绕在铁框架上,共有5片活性炭纤维毡,每片之间相隔3~4 mm,单片膜的面积为15 cm×10 cm;在泡沫塑料板中间固定一微型潜流泵,提供辅助动力,使水流以下进上出的上向流方式来强制水体循环进行挂膜和水体净化处理,该潜流泵体积流量为200 L/h,在无进出水的方式下进行实验。

生物膜帘装置如图1所示。

1.2 实验原水

挂膜阶段和水处理阶段的实验水样均取自某大学南湖,该湖水透明度差,呈暗黄色,湖水中藻类滋生严重,影响其水体功能。水质净化实验中取40 L南湖水, COD_{Mn} 为9.62 mg/L, NH_3-N 、TN、TP的质量

收稿日期:2014-01-20

基金项目:东莞市高校科研机构科技计划项目(2012108101002)

作者简介:廖娟(1990—)女,硕士研究生,研究方向为水污染控制理论与方法

联系电话:13724064055;电子邮件:aironjuan1003@163.com

通讯作者:金腊华,教授,电子邮件:profjin@163.com

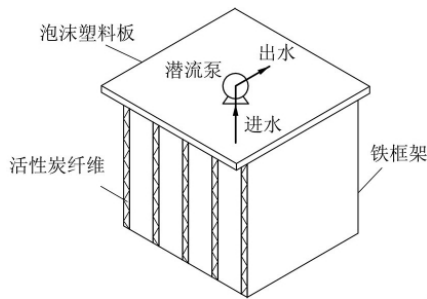


图1 活性炭纤维毡生物膜帘装置

Fig.1 Activated carbon fiber bio-film curtain equipment

浓度分别为 0.93、5.18、0.25 mg/L，浊度为 75 NTU。

1.3 分析方法

COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾氧化法，NH₃-N 含量采用纳氏试剂分光光度法，TN 含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法，TP 含量采用钼锑抗分光光度法；浊度采用分光光度法测定，pH 采用 pHS-3C 型 pH 计测定，生物相通过 XSP-3CA 生物显微镜观察。

2 结果与讨论

实验时间为 2013 年 8—11 月，生物膜的挂膜启动阶段为前 2 个月，在生物膜成熟后进行水处理实验。在温度为 20~35℃ 的条件下考察该工艺挂膜效果和对 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 和浊度的去除效果。

2.1 生物膜帘的挂膜启动

采用潜流泵辅助动力强制水体循环的方式进行自然挂膜，将所取的 40 L 南湖水注入水箱，将制作好的 2 个生物膜浮床装置放入水中，开启潜流泵进行挂膜实验。1 d 后活性炭纤维上出现了呈点状分散的黄褐色微生物絮体，随后活性炭纤维表面上附着的微生物量逐渐增加，也可明显见到水体有浑浊变澄清。由于气温较高会有水分蒸发，因而加以南湖水进行补充，以满足微生物更好的生长。2 个月后，活性炭纤维上布满了 1 层茶褐色的生物膜，膜厚度达到 1~2 mm。在挂膜过程中，通过光学显微镜观察，除原生动物外，生物膜上出现了大量杆菌、球菌以及轮虫、钟虫等附着活动能力较弱的原生和后生动物，这些微生物在活性炭纤维表面构成一个复杂的小型微生物群落。

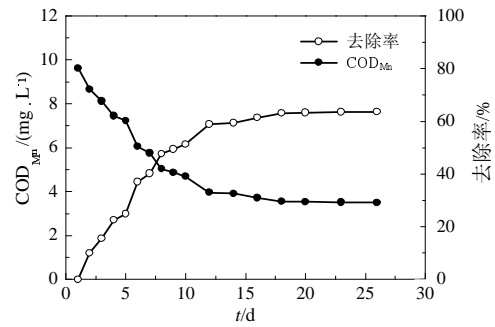
在 2 个月的挂膜期之后，将新取的 40 L 南湖水于装置中，运行 10 d 后，COD_{Mn} 和 NH₃-N 的去除率基本可达 60% 和 75% 左右，可以判断反应器挂膜成功。

2.2 动力辅助活性炭纤维生物膜帘净水效果

2.2.1 COD_{Mn} 的去除

活性炭纤维生物膜帘对 COD_{Mn} 的去除效果如图

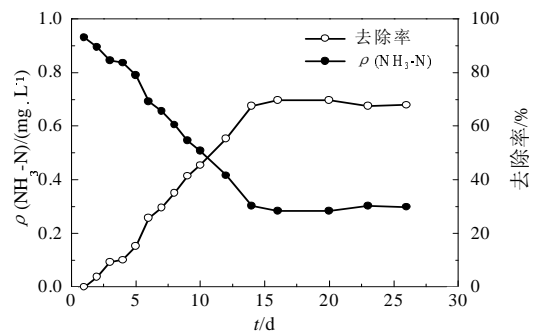
2 所示。

图2 COD_{Mn} 的去除效果Fig.2 The removal effect of COD_{Mn}

COD_{Mn} 是衡量水体中有机物污染程度的一个重要指标。由图 2 可知，平均 COD_{Mn} 从最初的 9.62 mg/L，下降到最小 3.5 mg/L，去除率达到 63.6%，动力辅助活性炭纤维生物膜帘对南湖水体 COD_{Mn} 有较好的去除效果，经处理后基本上可以达到 GB 3838—2002 的 II 类水要求^[5]。分析原因，一方面是活性炭纤维生物膜帘直接吸附截留颗粒和胶体有机物，另一方面是由于微生物的代谢降解去除，在生物膜帘吸附截留有机物的同时微生物利用营养物质促进自身的生长，对有机物的降解能力增强。整个过程中，对 COD_{Mn} 的去除呈上升趋势，在前几天去除较为缓慢，5 d 之后去除速率加快，15 d 后平缓去除，并在此阶段去除率达到最大，去除效果基本稳定。

2.2.2 NH₃-N 的去除

活性炭纤维生物膜帘对 NH₃-N 的去除效果如图 3 所示。

图3 NH₃-N 的去除效果Fig.3 The removal effect of NH₃-N

由图 3 可知，动力辅助活性炭纤维生物膜帘对 NH₃-N 的去除效果较好，NH₃-N 的质量浓度由大到小逐渐降低，从最初的 0.93 mg/L，下降到 0.28 mg/L 左右，去除率最大到 69.6%。由于在适宜的温度和潜流泵辅助动力强制水体微循环增加水体中溶解氧 (DO) 含量的情况下，世代周期长的硝化细菌生长

旺盛,保持着较强的生理活性,将水中的NH₃-N在硝化作用下转变成硝态氮^[16-17]。刚开始去除效率不断增加,15 d去除效率达到最大后使NH₃-N稳定在较低含量下,最终也达到GB 3838-2002的Ⅲ类水要求。

2.2.3 TN 的去除

活性炭纤维生物膜帘对TN的去除效果如图4所示。

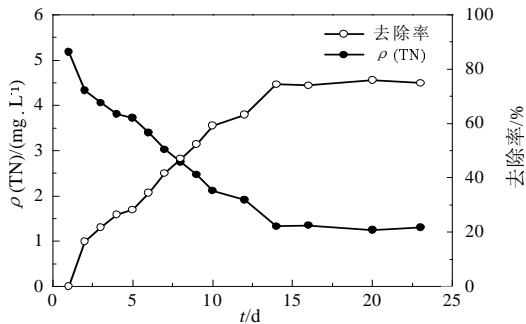


图4 TN的去除效果
Fig.4 The removal effect of TN

氮是导致水体富营养化的限制因素。由图4可知,TN平均质量浓度从5.18 mg/L不断下降到1.25 mg/L,去除率为76%左右,去除效果较好。经过15 d微生物的去除后从GB 3838-2002的劣Ⅴ类水改善至Ⅳ类水标准。由于TN去除受氨化、硝化、反硝化影响,微生物菌群生理活性受有机物含量、pH、DO含量、温度等条件限制,3个过程要控制严格的厌氧和好氧环境,去除效果有待进一步研究。

2.2.4 TP 的去除

活性炭纤维生物膜帘对TP的去除效果如图5所示。

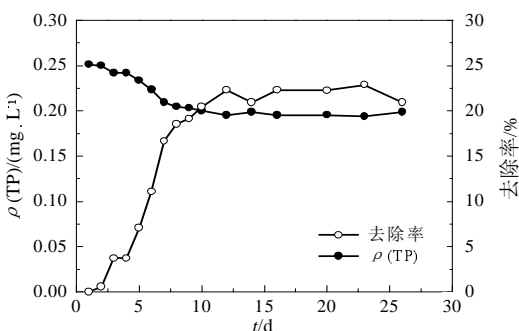


图5 TP的去除效果
Fig.5 The removal effect of TP

磷是引起水体富营养化的又一重要因素。由图5可知,动力辅助活性炭纤维生物膜帘对TP的去除效果不是很好,平均TP的质量浓度从最初的0.25 mg/L下降到0.19 mg/L,最大去除率在22.9%左右,能达到GB 3838-2002的Ⅲ类水标准。前12 d内,TP的去除速率较快,之后趋于平缓并伴有一定的波

动。该工艺对TP的去除主要是依靠生物膜微生物的同化作用,将P吸收后转化为自身细胞物质等贮存在细胞体内,以及活性炭纤维对P的吸附积累,当积累达到饱和状态后,对P的去除不再增加。

2.2.5 浊度的去除

活性炭纤维生物膜帘对浊度的去除效果如图6所示。

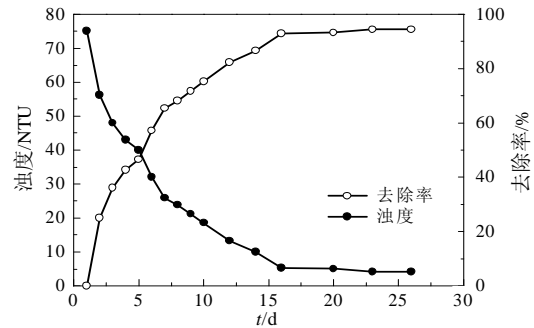


图6 浊度的去除效果
Fig.6 The removal effect of turbidity

由图6可知,浊度从75 NTU下降到4 NTU左右,去除率可高达94.5%,活性炭纤维生物膜帘对浊度有很好的去除效果。分析其原因是,活性炭纤维具有较大的比表面积,布满许多孔径分布均匀的微孔,孔隙率高,吸附能力强,能够大量截留水中的悬浮污染物,以及生物膜对污染物吸附作用,使浊度明显下降,水体由浑浊变为澄清透明。

2.3 富营养化控制效果评价

采用综合营养状态指数(TLI)法来评价实验原水和经动力辅助活性炭纤维生物膜帘净化后水体的营养状态,计算结果见表1^[18]。

表1 综合营养状态指数法计算结果
Tab.1 The calculation results of comprehensive nutrition state index method

项目	r_{ij}^2	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$	W_j	TLI(j)	TLI(Σ)
原水					71.86
COD _{Mn}	0.688 9	9.62	0.33	61.33	
TN	0.672 4	5.18	0.33	82.39	
TP	0.705 6	0.25	0.34	71.85	
净化水					53.54
COD _{Mn}	0.688 9	3.50	0.33	34.43	
TN	0.672 4	1.25	0.33	58.30	
TP	0.705 6	0.19	0.34	67.46	

注:TLI(j)分别为TLI(COD_{Mn})=10×[0.109+2.661ln [COD_{Mn}/(mg·L⁻¹)]],TLI(TN)=10×[5.453+1.69ln [ρ(TN)/(mg·L⁻¹)]],TLI(TP)=10×[9.436+1.62ln [ρ(TP)/(mg·L⁻¹)]];W_j=r_{ij}²/Σr_{ij}²;TLI(Σ)=ΣW_j·TLI(j)。

对湖泊富营养化状态采用0~100的一系列连续数字对湖泊营养状态进行分级,其中TLI(Σ)<30为贫营养,30≤TLI(Σ)≤50为中营养,50<TLI(Σ)≤60为轻度富营养,60<TLI(Σ)≤70为中度富营养,TLI(Σ)>70为重度富营养。由表1数据可知,南湖原水呈重

度富营养化状态,但是经过动力辅助活性炭纤维生物膜帘对水体修复之后综合营养状态指数由 71.86 下降至 53.54,水质向轻度富营养化发展,富营养化状态得到很大改善。

3 结论

动力辅助活性炭纤维生物膜帘的挂膜实验研究发现,采用自然挂膜方式技术上可行,挂膜时间相对较长,膜上微生物种类丰富,经 2 个月的挂膜后,对 COD_{Mn} 和 NH₃-N 的去除率基本可达 60%和 75%左右,挂膜成功。

采用该生物膜帘对污染水体水质改善效果较好,在原水中 COD_{Mn} 和 NH₃-N、TN、TP 的质量浓度分别为 9.62 mg/L 和 0.93、5.18、0.25 mg/L,浊度为 75 NTU 时,经 15 d 的净化后, COD_{Mn} 和 NH₃-N、TN、TP 的质量浓度分别可分别降至 3.5 mg/L 和 0.28、1.25、0.19 mg/L,浊度降至 4 NTU,去除率分别达 63.6%、69.6%、76%、22.9%、94.5%。

经动力辅助活性炭纤维生物膜帘对水体进行修复后,南湖水体的富营养化程度得到很大改善,综合营养状态指数由 71.86 下降至 53.54,水质从重度富营养化向轻度富营养化改善。

参考文献:

- [1] 薛昱,刘亚男,汪永辉,等.曝气充氧条件下受污染河道的水质模型建立及应用[J].环境科学,2010,31(3):653-659.
- [2] 李真,罗锦洪,黄民生,等.以蜂巢石为基质的垂直流人工湿地对黑臭水体除磷中试研究[J].华东师范大学学报:自然科学版,2011,1(1):127-134.
- [3] Li E H, Li W, Liu G H, et al. The effect of different submerged macrophyte species and biomass on sediment resuspension in a

- shallow freshwater lake[J].Aaquatic Botany,2008,88:121-126.
- [4] Chen Y H, Zhang Y, Huang M S, et al. Ecological restoration by a multistage floating-bed system in a eutrophic urban river, China[J]. Applied Mechanics and Materials,2012,157-158:945-949.
 - [5] 汪仲琼,张荣斌,陈庆华,等.人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果[J].环境科学,2012,33(11):3804-3811.
 - [6] Li X N, Song H L, Li W, et al. An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water[J].Ecological Engineering,2010,36:382-390.
 - [7] 马强,高明瑜,谭伟,等.新型生态浮岛在改善水质中的作用及生物膜载体微生物特征研究[J].环境科学,2011,32(6):1596-1601.
 - [8] 黄廷林,王堃,李娜,等.原位投菌技术修复微污染水源水的中试研究[J].环境工程学报,2012,6(7):2256-2260.
 - [9] 周慧华,宋晓光,吴革,等.水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究[J].环境科学,2013,34(10):3879-3887.
 - [10] 王峰慧,智利,魏巍,等.微生物菌剂直投技术原位修复微污染水源水的试验研究[J].给水排水,2011,37(1):143-146.
 - [11] A Grabinska-Loniewska, M Perchuc, T Kornilowicz-Kowalska. Biocenosis of BACFs used for groundwater treatment[J].Water Research,2004,38:1695-1706.
 - [12] 李文松,金腊华,陈冠宏,等.折流式活性炭纤维生物膜工艺处理景观水研究[J].水处理技术,2009,35(12):68-70.
 - [13] 尹艳娥,胡中华,刘亚菲,等.生物活性炭纤维处理微污染原水的研究[J].给水排水,2006,32(增刊):56-58.
 - [14] 陈思宇,韦晓群,唐远.活性炭纤维负载生物膜处理污水的研究[J].材料研究与应用,2010,4(4):410-413.
 - [15] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].
 - [16] Stephen E Mbuligwe. Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater [J].Ecological Engineering,2004,23:269-284.
 - [17] Christian Abegglen, Mario Ospelt, Hansruedi Siegrist. Biological nutrient removal in a small-scale MBR treating household wastewater [J].Water Research,2008,42:338-346.
 - [18] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测,2002,18(5):47-49.

EXPERIMENTAL STUDY ON EUTROPHIC WATER BODY RESTORATION BY ACTIVATED CARBON FIBER BIO-FILM CURTAIN WITH DYNAMIC AUXILIARY

Liao Juan, Jin Lahua

(School of Environment, Jinan University, Key Laboratory of Water/Soil Toxic Pollutants Control and Bioremediation, Department of Education of Guangdong Province, Guangzhou 510632, China)

Abstract: In order to find a new situ restoration technology for eutrophic water, the restoration effects of eutrophic water were studied by using activated carbon fiber bio-film curtain with dynamic auxiliary through the natural start-up. The result showed that the bio-film curtain had better removal effect on COD_{Mn}, NH₃-N, TN and turbidity when the temperature was 25~30 °C. COD_{Mn} was decreased from 9.62 mg/L to 3.5 mg/L, NH₃-N, TN were decreased from 0.93 mg/L, 5.18 mg/L to 0.28 mg/L, 1.25 mg/L and turbidity was decreased from 75 NTU to 4 NTU. The maximum removal rate could reach at 63.6%, 69.6%, 76% and 94.5%. The removal effect of TP wasn't better, the mass concentration reduced from 0.25 mg/L to 0.19 mg/L with the removal rate of 22.9%. The removal effect of organics, nitrogen and phosphorus could meet the requirements of class IV of GB 3838—2002 and even better. The comprehensive nutrition state index reduced from 71.86 to 53.54 and the water quality was changed from severe eutrophication state toward light eutrophication.

Keywords: activated carbon fibers; natural start-up; eutrophication; bio-film curtain