

弹性填料净化受污染入湖河流的现场试验研究

田伟君^{1,2}, 郝芳华¹, 翟金波³

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 2. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266003; 3. 河海大学环境科学与工程学院, 南京 210098)

摘要: 利用新型弹性填料作为生物膜载体, 将其直接布置在林庄港河道中, 研究在不影响河流生态系统结构和使用功能的前提下, 弹性填料对河流微污染水体的强化净化效果. 现场试验在挂膜成功后共运行了半年. 结果表明, 弹性填料对氨氮的去除效果最好. 它在整个运行期间对高锰酸钾指数的平均净去除率为 5.4%, 其中最高为 9.9%; 氨氮净去除率在 5.35% ~ 39.91%, 总磷的净去除率最高也达到了 28.6%. 同时细菌学检验结果表明, 高锰酸钾指数的去除率与附着在填料丝上的异养菌的数量存在正比关系; 而亚硝酸菌和硝酸菌的数量也与氨氮的去除率变化相匹配.

关键词: 弹性填料; 富营养化; 生物膜; 亚硝酸菌; 硝酸菌

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)05-1308-05

Elasticity Plastic Filler for Purification of Polluted Streams *in situ* Entering Lake

TIAN Wei-jun^{1,2}, HAO Fang-hua¹, ZHAI Jin-bo³

(1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The biofilm process using a new-type elasticity plastic filler was adopted in a typical polluted stream entering the Tai Lake (the Linzhuanggang). The experiments at pilot scale ran for about 0.5 years. Results show the average removal percentage of permanganate index by biofilm attached to the elasticity plastic filler is about 5.4%, the biggest removal percentage is 9.9%, the average removal percentage of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ is approximately 5.35%~39.91%, the biggest removal percentage of TP is 28.6%. And the bacteriological experimental results show there is the same change laws between the removal percentage of permanganate index and the numbers of heterotrophic bacteria; the numbers of ammonia-oxidizing bacteria (AOB) and nitrite-oxidizing bacteria (NOB) are matching with removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$.

Key words: elasticity plastic filler; eutrophication; biofilm; ammonia-oxidizing bacteria; nitrite-oxidizing bacteria

入湖河道是补给湖泊的主要水量来源, 但目前由于人口激增和工农业生产的日益发展使大量的污染物排进入湖河道^[1,2], 结果导致入湖河道污染严重, 同时也进一步加重了湖泊的污染负荷^[3]. 因此, 许多国家已经开展修复受污染河流的研究. 目前, 修复方法研究大体可归纳为 3 种: 一是重建河流周围浅滩, 增加河流蜿蜒度, 从而增加河流的生境多样性和抗逆性^[4,5]; 二是充分利用河滨或河岸水分和营养充分的特点, 先恢复植被以吸引各种动物在此栖息, 进而以此为植物源向周围传播和扩展^[6,7]; 三是要从整个生态区或大的景观层次上进行治理, 因为人类对自然界的影 响是大尺度的, 而导致水体退化的原因主要不是水体本身, 而多是在与其相连的其它生态系统中形成, 然后通过水流等排入引起的^[8,9]. 但无论是采用何种修复方法, 水质的恢复都是最重要的, 河流生态系统的许多物种, 如沉水植物(狐尾藻等)只有在清洁的水中才能生存, 可见河流水质的改善是其它修复方法使用的前提, 而利用生物膜技术净化受污染的河水则由于能得到立竿见影的净化效

果, 逐步成为各国研究的热点^[10]. 本研究采用自行研制的新型弹性填料直接布设在河道内的生物接触氧化法, 对河流微污染水体进行水质的强化净化分析.

1 材料与方法

1.1 弹性填料及其在河道内的布设

新型弹性生物填料是仿照河流生态系统中的臭轮藻(*Chara foetida*)设计而成的, 见图 1. 臭轮藻是天然河流中比较常见的一种藻类, 常生长在静水或慢流的水中^[11], 其高可达 60 cm. 它的存在是整个水生动植物群落多样性的基础, 许多细菌和真菌类也大多粘附在轮藻等大型藻类的茎和叶上. 此外, 轮藻的茎也极具柔性和韧性, 能随水流流动而来回摆动, 对水流的阻力较小. 新型弹性填料就是强调臭轮藻的

收稿日期: 2007-05-30; 修订日期: 2007-07-16

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412303); 国家自然科学基金项目(40471127)

作者简介: 田伟君(1976~), 女, 博士后, 讲师, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: weijunas@163.com

茎的柔性和韧性,枝和叶的可附着性,以填料的支杆仿照轮藻的茎,中心扣环仿照轮藻的节,填料丝仿照轮藻的叶研制而成的.本试验采用的弹性填料的规格为:填料片的直径为 150 mm,相邻填料片的间距为 80 mm,支杆的直径为 4 mm.

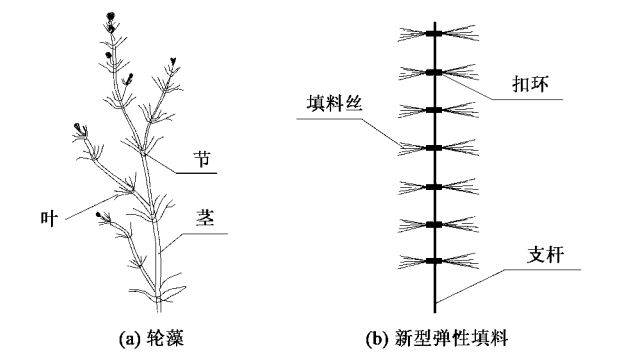


图1 填料“仿生”示意
Fig.1 New-type elasticity plastic filler

试验河段的具体位置在宜兴市大浦镇林庄港.林庄港是太湖众多入湖河道中的一条典型小河道,经往年监测数据可知,其水质长期属于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的劣Ⅳ类.和其它入湖河道一样,其水质的好坏直接影响到太湖的水质状况,本研究将其作为试验河道,而设置填料的试验河段则位于林庄港的上游段.此外,因在现场无岸坡条件和人文条件完全相同的 2 条河道,而林庄港的河床及岸坡因“863”项目的清淤及护岸建设,情况基本一致.因此将试验过程中的对照段和填料段设置在同一河流相连的两段.试验河段总长为 120 m,水面宽 8.6 m,试验河段的前 60 m 作为对照河段(无

填料),即考查该河段污染物质的自然净化能力,后 60 m 为设置弹性填料的填料河段,其总净化能力为填料上生物膜净化与河段自然净化能力的总和.弹性填料的布置形式为:中部留有 2.6 m 宽的“蛇形”航道,填料布置在航道的两侧,布置间距为 40 cm × 40 cm,即填料的布设密度为 9 根/m²(见图 2).



图2 弹性填料在河道内的布局
Fig.2 Layout of elasticity plastic fillers in the test section

1.2 试验方法

本研究选取 7~12 月作为试验期,它涵盖了河流的 3 个水期.但由于 2004 年江苏地区是一个干旱年,各河道(包括试验河段)的水量均小于往年,无丰水期,试验期间水位情况如表 1 所示,7~9 月的水位大约在 1 m 左右,属于平水期范围;从 10 月份开始,水位降到 85 cm 以下(雨天除外),开始进入枯水期,到 12 月份已降到 70 cm 左右.所以本试验在 6 个月的试验期间,只能考察 2 个水期(平水期和枯水期)高锰酸盐指数、NH₄⁺-N 和 TP 的去除效果.

表1 试验期间的水力条件

Table 1 Hydrographic condition in sampling period																		
指标	07-25	07-26	07-27	08-25	08-26	08-27	09-25	09-26	09-27	10-24	10-25	10-26	11-12	11-13	11-14	12-04	12-05	12-06
水位/m	1.15	1.00	1.15	0.98	0.98	1.00	1.30	1.15	1.25	0.85	0.82	0.85	0.76	0.96	0.86	0.70	0.74	0.80
流速/cm·s ⁻¹	3.00	2.15	3.45	0.70	0	0	3.30	2.40	2.85	0	0	0.65	0	0	0	1.62	0.89	0

1.3 采样及检测的试验设计

采样频率:3 次/月;采样断面及采样点设置:试验河段相对 0、60 和 120 m 处设 3 个取样断面,每个断面在距右岸 1.5 m 的填料内部取上(距水面 30 cm)、下(距水面 60 cm)2 个取样点;分析检测的项目:高锰酸盐指数、NH₄⁺-N、TP、SS 等水质指标,弹性填料微生物镜检、细菌总数和硝化菌数量.其中,高锰酸盐指数、NH₄⁺-N、TP、SS 等水质指标监测方法均依据文献[12]进行,细菌总数采用菌落总数快速检

验纸片测定,硝化菌数量采用 MPN 法测定^[13].

2 结果与分析

2.1 高锰酸盐指数的净化规律与机理

7~12 月间高锰酸盐指数的去除效果如图 3 所示.由于河道水位较低,所以本试验河段存在往复流现象,图 3 中 07-25、11-12 和 12-04 出现倒流现象,因此在该时段内水流是先进入填料段后再进入对照段.

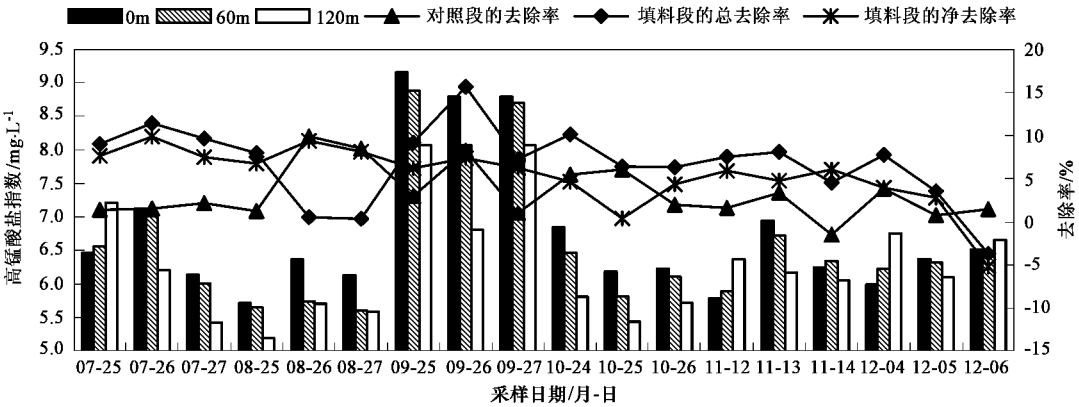


图3 试验期间高锰酸盐指数的去除效果
Fig.3 Degradation effect of permanganate index

从图3中可以看出,在平水期期间(7~9月),填料丝上附着的生物膜对有机污染物质的净化能力较强,高锰酸盐指数净去除率保持在10%左右,其中7月份对照段的自然净化率最稳定,均在2%左右,填料段的总去除率也比较高且稳定,最高达到了11.4%,从而使净去除率的平均值达到了8.33%;枯水期间(10~12月),随着气温和水位的不断降低,弹性填料段的净去除率也开始下降,到12月份甚至出现了负值,这可能是由于进入12月份后,填料段内的水生植物开始死亡、腐败,使该段的有机质含量增高,从而导致该段内的有机质浓度不降反而增高,即去除率出现负值。

由于水体中微生物可利用的基质浓度低,因此参与净化的菌类主要是高好氧性的贫营养菌、藻类、原生动物和微型的后生动物,其中去除有机质的菌类主要是异养菌^[14]。异养菌数量与有机质去除效果的关系如图4所示,图4表明填料丝表面附着的异养菌的数量与有机质的去除率具有相同的变化趋势。同时,细菌学检验表明填料丝附着的生物膜内的异养菌主要有芽孢杆菌属、假单胞菌属、动胶菌属等,此外在生物膜上还可以观察到丝状菌的存在。

2.2 NH₄⁺-N的净化规律与机理

试验期间NH₄⁺-N的进水水质较好,除8、11和12月外,其余各月NH₄⁺-N的进水水质均在地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中的Ⅱ类以内,这在一定程度上影响到NH₄⁺-N的去除效果。图5表明,NH₄⁺-N净去除率的最高点为7月的39.91%,然后缓慢下降到12月的5.35%,这一阶段内出现了2个“波谷”,1个出现在8月,另1个则出现在10月,出现“波谷”的2个月份试验河段均处于静止状态、无

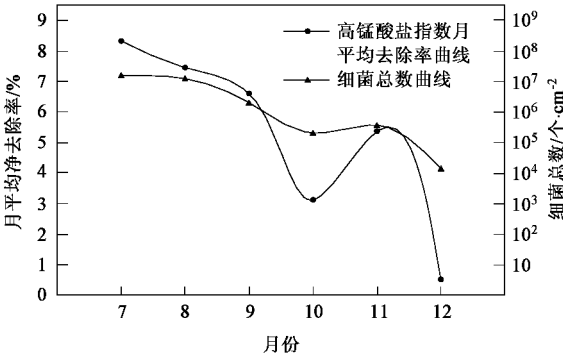


图4 细菌总数与有机物去除效果的关系
Fig.4 Relationship between the numbers of heterotrophic bacteria and permanganate index removal

水流流速,填料由于缺少水流的冲刷作用,生物膜厚度增加。经观察,增加生物厚度的主要物质为藻类和悬浮颗粒,这在一定程度上影响了氧和基质在生物膜内的传递过程,导致硝化菌数量的减少。填料丝上亚硝酸菌和硝酸菌数量从7月份的 3.64×10^5 个·m⁻²和 3.13×10^4 个·m⁻²减少到了8月份的 2.07×10^4 个·m⁻²和 1.42×10^3 个·m⁻²(如图6所示),硝化菌数量的减少必然导致NH₄⁺-N净去除率的降低。10月份也存在同样的情况。而且从图6还可以看出NH₄⁺-N的去除率与硝化菌数量有相同的变化规律,这进一步说明试验河段内的NH₄⁺-N的去除主要是靠硝化菌的硝化作用。

2.3 TP的净化规律与机理

如图7所示,在7~9月填料段对TP的去除明显高于对照段的,说明填料的设置在一定程度上增强了TP的去除效果,但由于试验河段的TP浓度较低,因而影响TP去除率,使TP的去除率不高,均在

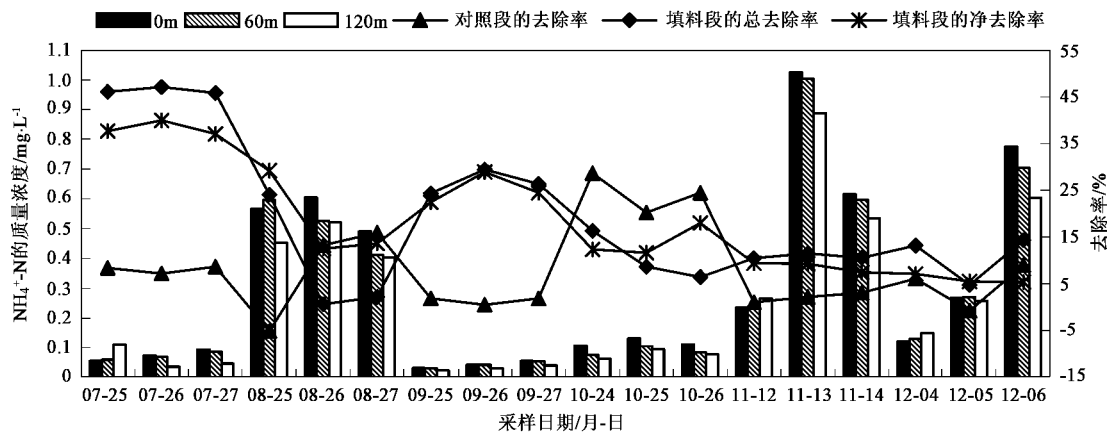


图5 试验期间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果
Fig.5 Degradation effect of $\text{NH}_4^+\text{-N}$

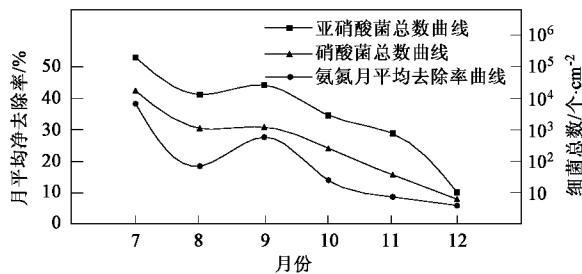


图6 硝化菌数量与氨氮去除率的关系
Fig.6 Relationship between the nitrobacteria quantity and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal

35%以下.但从10月份开始,填料段对TP的去除开始呈下降趋势,到了11和12月出现了对照段TP的去除率高于填料段的异常现象,甚至TP在填料段的浓度不降反而增高,这与试验期间河流大多处于静止状态有直接的关系.10月份,进入了藻类的暴发期,而填料的设置给藻类提供了依附地,再加上这时水流处于静止状态,引起了大量藻类滞留在填料段内.大量的藻类是10月填料段TP去除率降解的主要原因.到了11和12月,气温下降,依附填料生长的水生植物开始枯萎和死亡,植物体内的磷被释放重新进入水体,这导致了填料段内TP浓度不降反而

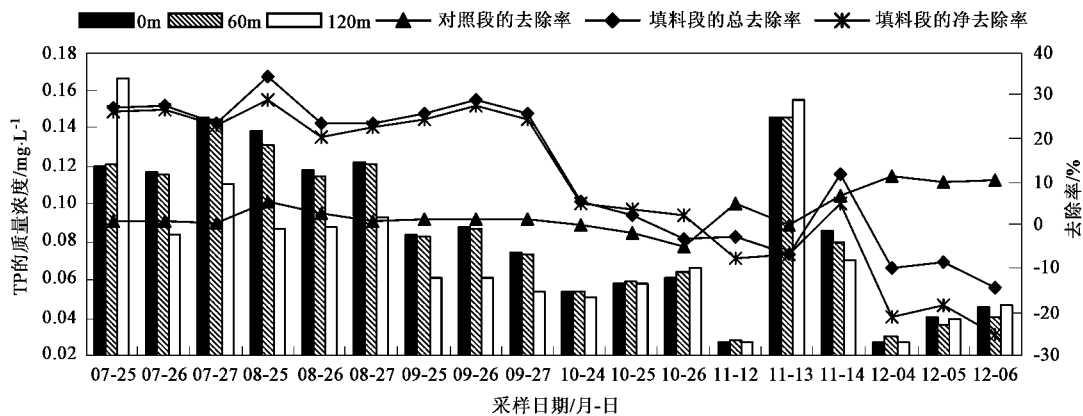


图7 试验期间 TP 的去除效果
Fig.7 Degradation effect of TP

升高的现象出现.

天然河流中无法满足生物膜除磷的条件^[15],因此可以认为本研究中填料段TP浓度的降低不是由微生物作用引起.而在试验中发现TP的去除与悬浮物(SS)的去除存在相似的规律,如图8,在TP去除

正常的7~9月TP的去除曲线和SS的去除曲线存在相同趋势,这说明填料段对TP的去除主要是依靠填料对吸附在悬浮颗粒的拦截作用,使其沉入水底,再加上试验期间试验河段的水流流速不大,这在一定程度也减少了沉入河床底泥中的磷的释放.从而

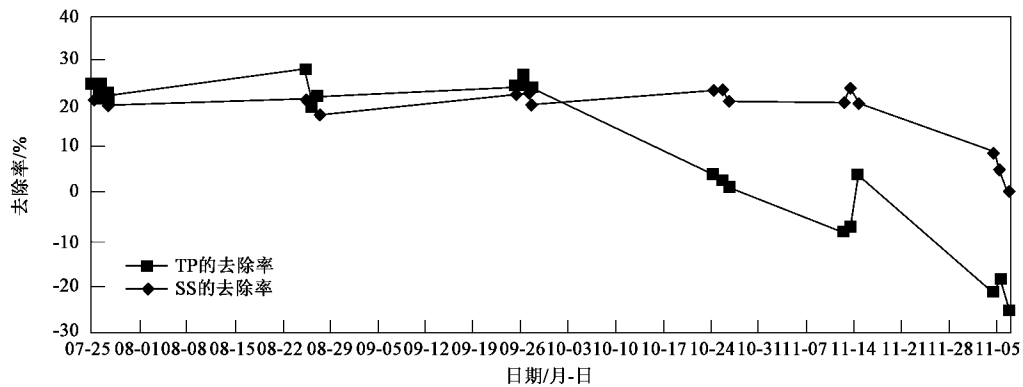


图 8 TP 去除率与 SS 去除率的关系

Fig.8 Removal relationship between TP and SS

使填料段对 TP 的去除保持了较高的去除率。

3 结论

(1) 有机污染物质在半年的试验期间,总的净去除率比较稳定,但去除率不高,都在 10% 以内,其中 7 月份的净去除率最高,平均值达到了 8.33%;氨氮净去除率的范围在 5.35% ~ 39.91% 之间;总磷的净去除率最高也达到了 28.6%。

(2) 河流中有机物的生物降解主要是由异养菌完成的.异养菌数量与有机质的去除率具有相同的趋势,细菌学检验表明填料丝附着的生物膜上的异养菌主要有芽孢杆菌属、假单胞菌属、动胶菌属等,此外生物膜还可以观察到丝状菌的存在;亚硝酸菌和硝酸菌的数量与氨氮去除率的正比关系也说明试验河段内氨氮的去除主要是靠硝化菌的硝化作用.填料段对总磷的去除主要是依靠填料对吸附在悬浮颗粒上磷的拦截作用来实现的。

参考文献:

[1] Magdaleno A, Puig A, de Cabo L, *et al.* Water Pollution in an Urban Argentine River [J]. Environmental Contamination and Toxicology, 2001, **67**: 408-415.

[2] Davis N M, Weaver V, Parks K, *et al.* An Assessment of Water Quality, Physical Habitat, and Biological Integrity of an Urban Stream in Wichita, Kansas, Prior to Restoration Improvements (Phase I) [J]. Environmental Contamination and Toxicology, 2003,

44: 351-359.

[3] 田伟君,王超,翟金波,等.入湖河道生态修复工程对水流流速的影响研究[J].水科学进展, 2006, **17**(4):502-506.

[4] 須藤隆一. 21 世纪における水環境の課題と展望[J]. 用水と廃水, 2000, **42**(7):46-51.

[5] 岸田弘之. 美しく清らかな河川を求めて[J]. 河川, 2002, **10**:47-53.

[6] 李睿华,管运涛,何苗,等.河岸芦苇、茭白和香蒲植物带处理受污染河水中试研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(3):493-497.

[7] 李睿华,管运涛,何苗,等.河岸混合植物带处理受污染河水中试研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(4):651-654.

[8] Whalen P J, Toth L A, Koebel J W, *et al.* Kissimmee river restoration: A case study[J]. Water Science and Technology, 2002, **45**(11):55-62.

[9] 王震洪,吴学灿,李英南.滇池流域荒台地植被恢复工程控制面源污染生态机理[J]. 环境科学, 2006, **27**(1):37-42.

[10] 崎村誠三. ひも状接触材バイオコッドによる河川の直接浄化[J]. 用水废水, 1997, **39**(3):35-41.

[11] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社, 2000.

[12] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.

[14] Boeije G M, Schowanek D R, Vanrolleghem P A. Incorporation of Biofilm Activity in River Biodegradation Modeling: A Case Study for Linear Alkylbenzene Sulphonate(Las)[J]. Water Research, 2000, **34**(5):1479-1486.

[15] 国家城市给水排水工程技术研究中心译. 污水生物与化学处理技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.