

仿生填料在河道内直接布设挂膜的试验研究

田伟君^{1,2}, 郝芳华¹, 王超³, 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, 山东 青岛 266003; 3 河海大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 仿照水域生态系统中的臭轮藻自行研制了新型仿生填料并将其直接布设于河床上, 以河道中原有的天然生物菌群为种源, 考察了在河道缓流水体的自然流量下, 新型仿生填料的动态培养挂膜过程。结果表明, 经过 30 d 的动态培养挂膜, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率稳定在 40% 左右, 对 COD_{Mn} 的去除率接近 10%; 生物膜的厚度逐渐增加, 其上生物种群呈规律性变化, 生物量也最终趋于稳定, 标志着新型仿生填料在河流中挂膜成功。

关键词: 仿生填料; 缓流水体; 生物膜; 动态培养

中图分类号: TU991.11 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)03-0081-03

Study on Dynamic Biofilm Forming Process of Bionic Packing in Streams

TAN Wei-jun^{1,2}, HAO Fang-hua¹, WANG Chao³, ZHA I 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: A new type bionic packing was designed by imitating *Chara foetida* in the water ecosystem, and was laid directly on a riverbed. Taking natural biological community existing in streams as species source, the dynamic biofilm forming course of the packing in natural flow of low-flow water body was investigated. Results indicate that after 30 days of dynamic cultivation, the degradation rate of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ steadies at 40%, the degradation rate of COD_{Mn} is about 10%. The biofilm thickness increases progressively, the biological community changes regularly and the biomass reaches a final steady state which indicates that the biofilm has been formed on the bionic packing successfully.

Key words: bionic packing; low-flow water body; biofilm; dynamic cultivation

笔者根据河流生态系统的基本特征, 将自行研制的新型仿生生物填料布设于河道内, 进行了直接挂膜的试验研究。

1 试验河段

试验河段的选取主要考虑了居民区密集、污染较重、河段建有混凝土护岸及河道内水草较少等因

素, 具体位置选择在宜兴市大浦镇林庄港。

林庄港是太湖众多入湖河道中一条典型的小河道, 由往年监测数据可知, 其水质属于地表水环境质量标准 (GB 3838—2002) 中的劣类。试验河段位于林庄港的上游, 总长为 120 m, 水面宽为 8.6 m, 水深为 0.7~1.5 m, 河床及岸坡情况因清淤及护岸建

设而基本一致,左岸为斜坡,坡比为 1 : 1. 75,右岸为浆砌石垂直护岸。

2 试验材料与方法

2.1 仿生填料

新型仿生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。

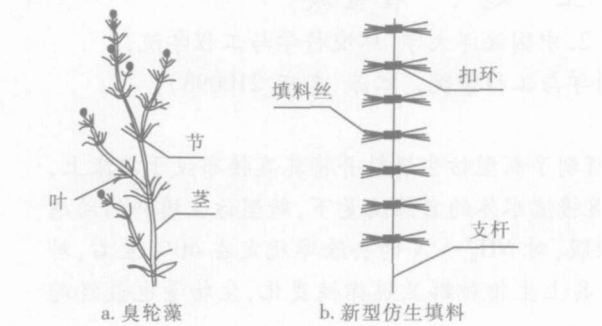


图 1 仿生填料示意图

Fig 1 The new-type bionic packing

臭轮藻是天然河流中较常见的一种藻类,生长在静水或慢流的水中。新型仿生填料就是模仿臭轮藻茎的柔韧性和枝叶的可附着性,以填料的支杆仿照臭轮藻的茎、以中心扣环仿照臭轮藻的节、以填料丝仿照臭轮藻的叶研制而成的。试验采用的仿生填料直径为 150 mm,相邻填料的间距为 80 mm,支杆直径为 4 mm。

2.2 仿生填料在河道中的布置

将试验河段分为两部分,其中前 60 m 为对照河段(无填料),考察该河段对污染物质的自然降解能力,后 60 m 为设置新型仿生填料的试验河段,其总净化能力为填料上生物膜的净化能力与河段自然净化能力之和。仿生填料在河道内的布置形式为:河道中部留有 2.6 m 宽的“蛇形”航道,将填料布置在航道的两侧,见图 2。

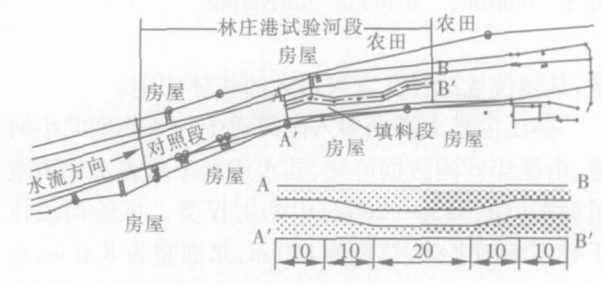


图 2 试验河段的位置及填料的布局

Fig 2 Location and packing layout of the test reach

填料的布置间距为 40 cm × 40 cm,填料高度根

据河床形状和相对水位而高矮不一,最高为 1.0 m,最矮为 0.4 m。

2.3 试验设计

采样频率为 2 次/周。分别在距试验河段起始点 0、60、120 m 处设 3 个取样断面,在每个断面距右岸 1.5 m 处的填料内部设上(距水面为 30 cm)、下(距水面为 60 cm)2 个取样点,将两个取样点所取样品按比例混合后进行水质检测。检测项目包括: COD_{Mn} 、 $NH_4^+ - N$ 、微生物镜检、细菌总数、硝化菌计数、藻类的鉴别与计数、DO、流速、水位、水温、pH 值。

2.4 挂膜期间的河流水文状况

试验时间为 2004 年 6 月 12 日—7 月 12 日。挂膜期间的气温在 22 ~ 35 ℃,水温在 25 ~ 31 ℃,河水流速在 0 ~ 20 cm/s。

3 结果与分析

3.1 对污染物的去除效果

挂膜期间,对照河段和填料河段对 COD_{Mn} 和 $NH_4^+ - N$ 的去除情况见图 3。

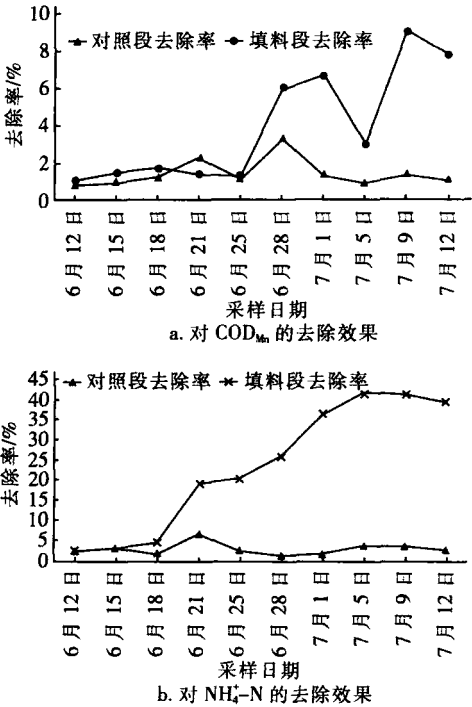


图 3 对污染物的去除效果

Fig 3 The degradation effect of pollutants

由图 3(a)可见,填料段对 COD_{Mn} 的去除率在挂膜的最初几天就高于对照段的,而且由于最初几天整个试验河段的基质浓度较高,所以去除率升高得

也较快,这说明河水中异养菌数量较多并已成功在填料丝表面附着。在接下来的时间里,随着基质浓度的降低,填料段对 COD_{Mn} 的去除率略有降低,但由于填料丝上异养菌的生长繁殖,其总的趋势还是上升的,但最高未超过 10% 且波动较大,这说明填料丝上附着的异养菌生长繁殖速度较快,但易受外界环境的影响,对 COD_{Mn} 的去除效果极不稳定。由图 3(b)可以看出,填料段对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率在挂膜的前 5 d 与对照段的几乎相同,说明硝化细菌的繁殖速度较慢;但从 6 月 18 日起,填料段对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率开始呈阶梯式大幅增加,并最终稳定在 40% 左右。整个挂膜期间,进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度均较低(6 月 25 日—7 月 1 日略高),这在一定程度上影响了对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。同时对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率不是逐渐上升而是呈阶梯式跳跃上升,这在一定程度上与硝化菌的对数生长规律有关。

3.2 填料上生物种群的变化

将填料在河道内安装好后,未通水时填料丝无色透明;通水启动后第 9 天时,镜检发现填料丝上已附着有微生物,填料丝表面呈淡绿色,其上附着的藻类较多,以硅藻、蓝藻和绿藻居多,菌类较少;启动后第 16 天,填料丝上已有絮状黏附物附着,填料丝表面呈黄绿色,镜检时发现填料丝上的菌类数量增加,并以菌胶团的形式存在,而藻类的数量则有所减少;启动后第 23 天,填料丝上的絮状黏附物增厚,填料丝表面呈褐绿色,镜检时发现藻类的数量继续减少,但种类有所增加,如有蓝藻门的项圈藻,硅藻门的小环藻、脆杆藻和舟形藻,隐藻门的卵形隐藻,裸藻门的梭形裸藻,绿藻门的栅藻等,同时细菌的种类和数量也有所增加,且出现了后生动物,如苔藓虫、轮虫等;挂膜的第 30 天,填料丝表面已呈黑褐色,镜检发现填料丝上的动物种类和数量增加,优势种群有钟虫、累枝虫、轮虫、喇叭虫等,标志着生物膜的成熟。

3.3 填料丝上生物量的变化

试验采用针刺法测量挂膜各阶段的生物膜厚度及生物量变化情况,结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出,直接布置在河道的填料在生物膜成熟时其上生物膜厚度为 0.8 ~ 1.1 mm,由于生物膜内的微生物主要是一些贫营养微生物,因此形成的生物膜较薄,生物膜由表及里几乎均为好氧层,这给好氧菌创造了良好的生长繁殖条件,也有利于氧在生物膜内的传递。从表 1 还可以看出,异养

菌的繁殖生长速度远远大于硝化菌的增殖速度,这就很好地解释了为什么填料段对 COD_{Mn} 的去除率从挂膜开始就高于对照段的,而对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率高于对照段的时间出现得较晚的原因。同时由表 1 也可看出亚硝酸菌比硝酸菌的增殖速度快,这是因为硝酸菌的世代期长于亚硝酸菌的世代期。在挂膜的最后一周内,异养菌的数量稳定在 10^7 数量级,亚硝酸菌和硝酸菌的数量也分别稳定在 10^5 和 10^4 数量级,这进一步说明生物膜已经成熟。

表 1 挂膜期间生物膜厚度及细菌数量的变化

Tab 1 The thickness of the biofilm and the change of the biomass in the biofilm formation process

挂膜时间 /d	生物膜厚度 /mm	生物量 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	异养菌数量 /($\text{个} \cdot \text{cm}^{-2}$)	亚硝酸菌数量 /($\text{个} \cdot \text{cm}^{-2}$)	硝酸菌数量 /($\text{个} \cdot \text{cm}^{-2}$)
0	0	0	0	0	0
9	0.3 ~ 0.5	0.317	2.34×10^4	20.8	1.88
16	0.5 ~ 0.7	0.445	6.29×10^5	1.38×10^3	1.19×10^3
23	0.8 ~ 1.0	0.516	2.01×10^7	3.34×10^5	4.17×10^3
30	0.8 ~ 1.1	0.525	2.07×10^7	3.64×10^5	3.13×10^4

注:单位中的 1 cm^2 是指填料丝的表面积。

4 结论

仿生填料在河道内的自然挂膜过程中,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率在经过台阶式增长后稳定在 40% 左右,对 COD_{Mn} 的去除率最终接近于 10%,但波动较大。

挂膜期间,填料丝上生物膜的外表颜色呈现出无色透明、淡绿色、黄绿色、褐绿色、黑褐色的变化过程;生物种类也从无到有地经历了以藻类为主、出现菌胶团、出现微型动物等一系列变化过程,培养末期生物膜中的优势种群有钟虫、累枝虫、轮虫、喇叭虫等;在挂膜的最后一周内,异养菌的数量稳定在 10^7 数量级,亚硝酸菌和硝酸菌的数量也分别稳定在 10^5 和 10^4 数量级,标志着生物膜的成熟。

参考文献:

- [1] Sabater Sergi, Guasch Helena, Romani Anna, *et al* The effect of biological factors on the efficiency of river biofilms in improving water quality [J]. *Hydrobiologia*, 2002, 469 (1): 149 - 156

电话: (010) 81867003

E-mail: weijunas@163.com

收稿日期: 2006 - 09 - 14