

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.014

# 单一直接投加微生物修复技术在河流治理中的应用

庄景<sup>1,2</sup>, 谢悦波<sup>2,3</sup>, 宗绪成<sup>2</sup>, 范荣亮<sup>2,3</sup>, 吴霞<sup>2,3</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 在无彻底截污和清除内源的状况下, 应用单一直接投加微生物修复技术, 采用梅花式接种法将本源微生物菌剂直接接入, 对无锡市浒溪河水体及底泥进行污染治理实验研究。结果表明: 河道水体 DO 质量浓度提升至 2 mg/L 以上, 出水处的 COD<sub>Mn</sub>、TP 和 NH<sub>3</sub>-N 降解率分别可高达 43%、56% 和 58%。结果说明单一直接投加微生物修复技术在相对滞留的城市重污染河道治理中, 在无彻底截污和清除内源的情况下, 可以初步消除河道的黑臭现象, 修复水质。

**关键词** 城市河流污染; 微生物修复; 微生物菌剂; 无锡市

中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)02-0063-04

## Application of single direct adding-microbial remediation technology in heavily polluted urban stream water treatment

ZHUANG Jing<sup>1,2</sup>, XIE Yue-bo<sup>2,3</sup>, ZONG Xu-cheng<sup>2</sup>, FAN Rong-liang<sup>2,3</sup>, WU Xia<sup>2,3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098 China; 2. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Nanjing 210098, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract**: An experiment was carried out to study pollution control of the water and sediment in the Xuxi River of Wuxi City under the conditions of a partially intercepted external pollution source and a partially eliminated internal pollution source by a quincunx-type adding the original microorganism bacteria directly into the water according to single directly-adding microbial remediation technology. The results showed that the mass concentration of dissolved oxygen was increased to above 2 mg/L, and the removal rates of COD<sub>Mn</sub>, TP, and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in effluent were as high as 43%, 56%, and 58% respectively. The results also showed that single directly adding-microbial remediation technology could be used in heavily polluted urban streams to eliminate the black and odorous phenomenon of the stream and to restore the water quality in the case of a partially intercepted external pollution source and a partially eliminated internal pollution source.

**Key words**: urban stream pollution; microbial remediation; microbial agent; Wuxi City

据资料显示, 2008 年全国地表水污染严重, 200 条河流 409 个断面, 劣 V 类水质断面占 20.8%, 全国流经城市的河段 90% 受到严重污染<sup>[1]</sup>。如何有效、快捷地解决城市河流污染问题已成为城市可持续发展的一个必须解决的问题。

现国内外常用的污染河流水质修复的方法主要有 3 类: ①物理修复方法, 如底泥疏浚、引水冲淤、机械除藻等, 但往往治标不治本, 只能作为对付突发性水体污

染的应急措施; ②化学修复方法, 如化学絮凝处理技术、加入铁盐促进磷的沉淀、加入石灰脱氮等, 虽然见效快、效率高, 但是易造成二次污染<sup>[1]</sup>; ③生物修复方法, 如河流曝气复氧、生物膜、人工湿地、微生物修复、水生植物修复等。现多采用利用人工曝气、微生物修复和水生植物修复技术相结合的综合河流治理方法<sup>[2-6]</sup>。微生物修复技术具有能耗少、费用低、效果好、易操作、持续时间长、无二次污染等优点, 是最具发展

前景的主体修复技术<sup>[78]</sup>。现阶段研究的微生物修复河流水体技术的应用方法主要有直接投加法、吸附投菌法、固定化投菌法、根系附着法、底泥培养返回法、注入法等<sup>[9]</sup>，同时配以曝气复氧、植入水生植物等方法，而对单一微生物修复技术研究较少，故笔者对单一直接投加微生物修复技术在城市污染河流治理中的应用进行研究。

## 1 河道概况

浒溪河(见图1)是无锡市南长区五爱路西侧的一条东西走向的城市内河，西起大运河，东接古运河，贯穿整个锡山新村区，沿河居住着大量居民。该河全长1.36km，荣巷小桥头、浒溪桥、小木桥段的水面宽分别为4.5m、25.0m、7.5m，水深分别为1.4m、1.5m、1.1m，污泥深分别为1.6m、1.9m、1.2m。



图1 无锡浒溪河及采样点示意图

浒溪河河道源头处一水闸将其与大运河基本完全阻隔，变成了“断头浜”，且常年直接接纳周边居民的生活污水、沿河5个公共厕所和5个垃圾中转站的污水，河道环境容量随之降低，生态系统完全破坏，自净能力基本丧失，从而导致水质污染和水体发黑发臭。整条河道直接观测到的污水排放口达50多处，另外还有一些水面下难以观测到的污水排放口。河流的污染主要为生活污水污染为主，可生化性强，宜做微生物处理。污水量约为10100m<sup>3</sup>/d，其水质背景值见表1。

表1 浒溪河采样点水质指标背景值

编号	采样地点	水温/透明度/ ℃ cm	$\rho(\text{DO})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{TP})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ (mg·L <sup>-1</sup> )	
1号	小桥头	16.3	20	1.2	11.0	0.95	13.6
2号	浒溪桥	18.0	20	0.2	11.2	0.58	11.2
3号	锡山新村桥	16.8	20	0.3	12.9	0.92	13.8
4号	五爱路箱涵	16.6	10	0.3	13.9	1.10	15.8
5号	小木桥	16.6	10	0.1	14.2	1.17	16.4

注 无锡市环境监测中心 2008 年 11 月 12 日数据。

## 2 实验方法

### 2.1 材料及器材

本源微生物菌剂(由深圳博生生物有限公司生产，经过毒理实验测试对人体无毒)、培养基、促进剂、水泵、100kg 带盖塑料桶、水管及 PVC 管等。

### 2.2 过程

#### 2.2.1 扩大化培养

将本源微生物菌剂、培养基及河水按照 1:2:7 的配比在 100kg 塑料桶在河岸就地扩大化培养，并进行搅拌，将其交替地置于好氧和厌氧的状态，培养好氧、厌氧及兼氧微生物。当培养后的菌液 pH 值为 3 左右、表面布满白色半透明生物膜时，即表明菌剂培养完成。

#### 2.2.2 直接投菌法

微生物接种是指把一些与土著微生物群落有关的具有独特或专性代谢功能的微生物引入污染处理现场的过程，是微生物修复的重要环节<sup>[10]</sup>。本实验微生物接种采用直接投菌法，即直接向遭受污染的河流投入外源的微生物菌剂，同时提供这些微生物生长所需的营养，包括常量营养元素和微量营养元素。常量营养元素包括氮、磷、硫、钾、钙、镁、铁、锰等<sup>[11]</sup>，许多研究者对生物修复的最佳生态条件建议取 C:N:P 最佳比值为 100:10:1<sup>[10]</sup>。由于浒溪河主要受生活污水污染，故氮和磷含量很丰富，需补充少许常量营养元素如硫、钾、钙、镁、铁、锰等，故配置相应的促进剂促进微生物生长。

将培养后的微生物菌剂(含有的活菌数  $> 3.0 \times 10^9$  个/mL)用河水按照 1:5 的比例稀释，并按 1:1000 配加促进剂后，用泵将稀释后的微生物菌剂采用梅花式接种法(见图2)注入河道底泥及河水中。从河段的上游开始接种微生物菌种，接种点上游段间距平均约 0.4m，停留时间平均约 30s；下游段相隔平均约 0.5m，停留时间平均约 30s。在污泥较深处接种间距适当减小，停留时间适当增长。

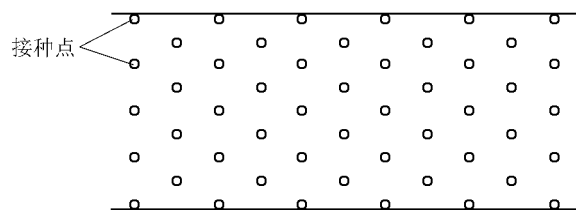


图2 梅花式接种法示意图

分冬夏两季，于 2008 年 11 月及 2009 年 6 月对河段进行微生物接种及补充菌种。结束后，于 2009 年 8 月底对河段进行监测。

#### 2.2.3 采样点布置及监测指标

分别在小桥头、浒溪桥、锡山新村桥、五爱路箱涵和小木桥处共 5 处设立监测采样点(见图1)，并依次编号为 1~5 号采样点。主要监测 DO、COD<sub>Mn</sub>、TP 和 NH<sub>3</sub>-N 等 4 项水质指标。测试方法如下：DO 采用电化学探头法，透明度采用塞氏盘法，COD<sub>Mn</sub> 按 GB 11892—89《水质高锰酸盐指数的测定》测试，TP 采用流动注射方法，NH<sub>3</sub>-N 采用纳氏试剂比色法，TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法。

### 3 结果与讨论

a. DO 的变化与分析。由图 3 可见 实验后全河道的 DO 的质量浓度均大于 2mg/L 已达 V 类水 DO 标准。1 号、2 号采样点的 DO 背景值急剧下降的原因是由于这 2 个采样点河段属于河湾处 流速小 水力停留时间长 水体中的有机物反应较完全 DO 消耗大。

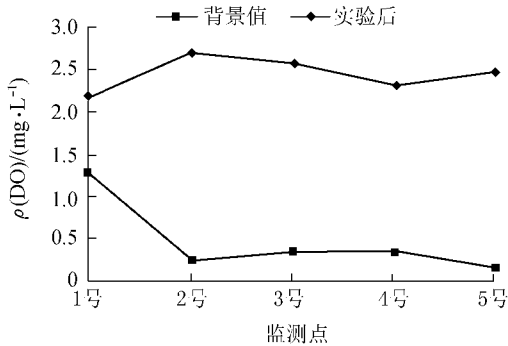


图 3 各监测点实验前后 DO 质量浓度变化

b. COD<sub>Mn</sub> 的变化与分析。由图 4(a) 可以看出, COD<sub>Mn</sub> 质量浓度背景值随水流方向呈平缓上升趋势, 实

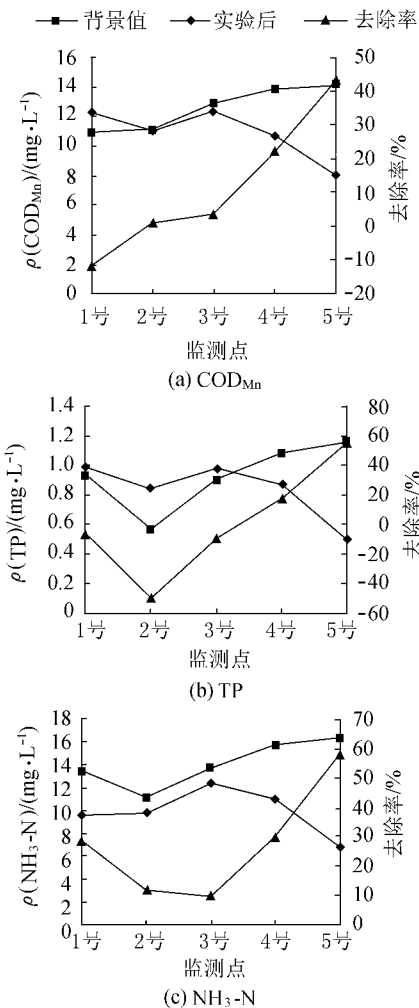


图 4 各监测点实验前后 COD<sub>Mn</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N 质量浓度变化

验后 COD<sub>Mn</sub> 质量浓度先下降后上升, 而后再下降, 在 2 号点出现转折点。去除率也随水流方向上升, 在河流下游段 5 号采样点河流出水处 COD<sub>Mn</sub> 去除率可达 43% 以上。5 号采样点 COD<sub>Mn</sub> 为 8.03 mg/L, 小于 10 mg/L, 已达到地表水 IV 类标准。在 1 号采样点, 实验后 COD 质量浓度比背景值要高, 这与温度有关。

c. TP 的变化与分析。由图 4(b) 可以看出, 背景值 TP 质量浓度总体随水流方向呈上升趋势, 1 号至 2 号采样点 TP 质量浓度下降可能与流速有关。1 号至 2 号采样点段为河湾, 河流流速小于泥沙启动流速, 所以河流底泥不会受到冲刷或者悬浮, 河流底泥释放磷较少<sup>[12]</sup>, 且水力停留时间较长, 微生物有足够反应时间, 故 TP 质量浓度较低。实验后, TP 质量浓度逐渐下降, 在 5 号采样点其降解率达到 56% 以上。2 号采样点实验后 TP 质量浓度反而高, 是由于监测时的温度比背景值监测时高, 这可能与温度有关。张智等<sup>[13]</sup>在双龙湖底泥磷释放模拟正交实验测定分析发现, 底泥释磷强度随温度升高而增加, 实验后监测温度比实验前监测温度高可能导致实验后 TP 质量浓度较实验前高。

d. NH<sub>3</sub>-N 的变化与分析。NH<sub>3</sub>-N 的变化如图 4(c) 所示, NH<sub>3</sub>-N 质量浓度背景值随河水流动呈上升趋势。实验后 NH<sub>3</sub>-N 质量浓度在 3 号采样点之前上升, 之后开始下降, 平均降解率接近 30%。5 号采样点处的 NH<sub>3</sub>-N 去除率达到 58% 以上。NH<sub>3</sub>-N 去除率也随着水流方向整体基本呈上升趋势。实验后 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化在 3 号点出现转折, 是由于 3 号采样点之后污染物排入少的缘故。

经过分析, 实验后 COD<sub>Mn</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N 浓度均整体下降, 且河道出水处的降解率分别可高达 43%、56% 和 58%, 与其他的类似实验<sup>[3]</sup>比较, 该项技术对 TP 和 NH<sub>3</sub>-N 具有较高的去除率。

### 4 结论

a. 实验后 COD<sub>Mn</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N 的去除率随水流均呈上升趋势, 在河道后段达到最高, 说明河道已成为一天然的污水净化厂, 直接投加的微生物菌剂并没有完全流失, 而是在河底淤泥上生长、繁殖, 并随着水流及河底淤泥的移动充满整个河道, 尤其在河道下游聚集较多, 使得在河道下游去除率较高;

b. 实验后整个河道 DO 质量浓度均在 2 mg/L 以上, COD<sub>Mn</sub> 均在 13 mg/L 以下, 表明该河道污染水体已初步消除黑臭<sup>[1]</sup>;

c. 实验后 COD<sub>Mn</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N 浓度均在 3 号采样点锡山新村桥处发生转变, 3 号采样点为处理的中段, 该河道主要的污染物排入口均在 3 号采样点之前, 故浓度降低与污染物排入量较少有重大关系;

d. 实验结果表明, 单一的直接投加微生物修复技术在治理相对滞留的城市污染河道中可以初步消除河道的黑臭现象, 修复水质, 无需彻底截污和清除内源, 且操作简单、见效时间短, 对氮、磷均有较高的去除率, 适应当下城市治理河道资金不足, 不能立刻实现彻底截污、收集城市生活污水、修建污水处理厂的现状。但是单一的微生物修复还不能完全修复河流生态, 表现在 DO 不充足, 从而导致  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实验后的去除率虽然较高, 但其浓度依然处于劣 V 类的状态, 应在实验初期采用曝气来增加 DO 浓度, 提高氮的去除率。另外, 磷是典型的沉积型循环物质, 不存在任何气体形式的化合物, 所以磷不能像氮一样, 可以借助微生物转化成气态从河道中去除, 所以必须辅以水生植物对河道水体中的磷进行彻底根除。

#### 参考文献:

- [1] 徐祖信. 河流污染治理技术与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 401-405.
- [2] 钱嫦萍, 王东启, 陈振楼, 等. 生物修复技术在黑臭河道治理中的应用 [J]. 水处理技术, 2009, 33(4): 13-17.
- [3] 罗刚, 刘军, 胡和平. 生物修复技术在白海面黑臭河涌治

- 理中的应用 [J]. 环境科学与管理, 2009, 34(2): 115-118.
- [4] 雷恒毅, 余光伟, 刘广立, 等. 珠江流域重污染感潮河道黑臭治理新技术 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(3): 134-136.
- [5] 金承翔, 孙建军, 黄民生, 等. 组合生物技术对黑臭水体净化修复研究 [J]. 净水技术, 2005, 24(4): 1-4.
- [6] 熊万永, 李玉林. 人工曝气生态净化系统治理黑臭河流的原理及应用 [J]. 四川环境, 2004, 23(2): 34-36.
- [7] 杨秀敏, 胡桂娟, 杨秀红, 等. 生物修复技术的应用及发展 [J]. 中国矿业, 2007, 16(12): 58-60.
- [8] 刘志刚, 岳峥, 马东兵. 中国资源综合利用 [J]. 水体生物修复技术研究进展, 2008, 26(12): 25-28.
- [9] 孙建军, 徐亚同. 受污染水体的微生物修复 [J]. 上海化工, 2003(4): 7-11.
- [10] 朱遐. 生物修复的研究和应用现状及发展前景 [J]. 生物技术通报, 2006(5): 30-32.
- [11] 李坤陶. 生物修复技术及其应用 [J]. 生物学教学, 2007, 32(1): 4-6.
- [12] 刘贵云, 姜佩华. 河道底泥资源化的意义及其途径研究 [J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2002, 28(1): 33-36, 60.
- [13] 张智, 刘亚丽, 段秀举. 湖泊底泥磷释放影响因素显著性试验分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(2): 16-19.

(收稿日期 2010-03-08 编辑 徐娟)

(上接第 57 页)

### 3 结论

大沙河坪山桥段的水质修复中试研究表明, 通过设置水力自控翻板闸蓄水、复合生态滤床和生态护岸, 并辅以人工复氧和微生物改良等技术措施的综合运用, 对被污染的城市河涌进行水体修复, 可以取得较好的处理效果。在污水间歇性流量约为  $50\text{m}^3/\text{d}$  的情形下, COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除率分别可以达到 40%、55%、25% 和 40% 以上, 黑臭基本消除。此外, 植物对环境的美化作用也比较明显。对于已基本截污、水源不足、生态系统脆弱、不具备景观效应的城市河涌, 其整体改善的效果尤其明显。该中试研究为珠三角河涌治理以及生态修复提供了一个成功案例, 也为我国各类城市河涌在截污后进一步改善水质, 恢复其生态系统提供了一种新的方法和思路。

#### 参考文献:

- [1] 杨小梦, 张涛, 邱潭生. 深圳市大沙河底泥毒物污染特征及对策探讨 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2003, 37(4): 572-575.
- [2] 张永良, 洪继华, 夏青, 等. 我国水环境容量研究与展望 [C]//中国环境科学研究院学术委员会. 环境科学论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 165-175.
- [3] 盛彦清, 陈繁忠, 叶恒朋, 等. 城市黑臭河涌水质改良中

- 试研究 [J]. 环境工程, 2005(5): 63-65.
- [4] 周莉娟. 城区河涌污染的综合整治对策研究: 以广州东濠涌治理为例 [J]. 科技管理研究, 2006(4): 201-202.
- [5] 汪朗峰. 大沙河河口水闸工程方案设计 [J]. 中国农村水利水电, 2007(2): 110-114.
- [6] 周经渊. 水力自控翻板闸门的研究与应用 [J]. 水力发电学报, 2007, 26(6): 73-76.
- [7] 刘守杰. 水力自控翻板闸技术应用研究 [J]. 森林工程, 2002, 18(1): 33-36.
- [8] 徐祖信. 河流污染治理技术与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [9] 北京市水利局. 日本韩国的河道治理 [J]. 北京水利, 2003(4): 30.
- [10] 崔树彬, 刘俊勇, 陈军, 等. 论河流生物-生态修复技术的内涵、外延及其应用 [J]. 中国水利, 2005(21): 16-19.
- [11] 徐亚同, 史家祿, 袁磊. 上澳塘水体生物修复试验 [J]. 上海环境科学, 2000, 19(3): 480-484.
- [12] 刘军, 徐亚同, 陈洽群, 等. 城市半封闭河道水体生态恢复试验 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(9): 27-30.
- [13] 吴义锋, 吕锡武, 陈杨辉, 等. 生态护砌改善河道水质的中试研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(11): 32-36.
- [14] 刘娜娜, 杨德全, 张书宽. 生态河道中护岸形式的探索及应用 [J]. 中国农村水利水电, 2006(10): 97-99.
- [15] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

(收稿日期 2010-06-01 编辑 徐娟)