

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203270424

柳敏,王如松,蒋莹,王金辉,黄锦楼. 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果. 生态学报, 2013, 33(8): 2358-2364.

Liu M, Wang R S, Jiang Y, Wang J H, Huang J L. A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2358-2364.

原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果

柳 敏¹, 王如松^{1,*}, 蒋 莹², 王金辉², 黄锦楼¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 扬州市涵闸河道管理处, 扬州 225000)

摘要:以扬州市典型城市内河河道为例研究了人工曝气、生态砖覆盖、生物填料覆盖、低位植物浮床(简称低位浮床)等原位生态处理技术对河道底泥污染释放及其对上覆水污染负荷贡献的治理效果。研究表明:经不同原位生态处理后,1)底泥中氨氮的释放速率下降 50.3%—89.64%,平均为 59.27%;底泥污染释放对上覆水氨氮负荷贡献量的去除率为 36.59%—82.67%,平均为 53.33%;2)底泥中总氮的释放速率下降 20.96%—88.94%,平均为 42.32%;底泥总氮释放对上覆水污染负荷贡献量的污染去除率为 38.00%—67.06%,平均为 54.96%;3)底泥中总磷的释放速率下降 27.49%—91.00%,平均为 55.31%;底泥总磷释放对上覆水总磷污染负荷贡献量的去除率为 67.14%—98.46%,平均为 84.33%;4)底泥中 COD_{Mn} 的释放速率下降 11.84%—79.32%,平均为 41.16%;底泥上覆水中 COD_{Mn} 的释放速率下降 1.25%—70.74%,平均为 29.83%。研究还发现,原位生态处理技术在运行中对底泥污染治理的效果受该技术对底泥的扰动程度的影响,在进行集成应用的时候,对底泥扰动较大的技术应与对底泥扰动较小的技术相间应用,以减少工程技术运行中对底泥扰动造成的污染爆发式释放,达到更好的整体处理效果。

关键词:原位生物技术;城市河道;底泥污染

A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river

LIU Min¹, WANG Rusong^{1,*}, JIANG Ying², WANG Jinhui², HUANG Jinlou¹

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Yangzhou Culvert river Management Office, Yangzhou 225000, China

Abstract: A case study of the Yangzhuang River in Yangzhou City, China, was undertaken as an example of a typical, polluted urban river. Emphasis was placed on studying the effects of *in-situ* bioremediation technologies, such as aeration, eco-brick cover, biological packing cover, and low-sited plant beds on the subsequent release of pollutants from contaminated sediments in the river. Additionally, the amounts of ammonia nitrogen (NH₃-N), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and COD_{Mn} released from the sediments were measured, and their contributions to overlying water were individually quantified. The results showed that: 1) NH₃-N release rate of polluted sediment was reduced by 50.30%—89.64%, with an average of 59.27%, and NH₃-N input to the overlying water was reduced by 36.59%—82.67%, with an average of 53.33%; 2) TN release rate showed a decrease of 20.96%—88.94%, with an average of 42.32% and the changes in TN contributions to the overlying water indicated a removal efficiency of 38.00%—67.06%, with an average of 54.96%; 3) the release rate of TP from the sediment was decreased by 27.49%—91.00%, with an average of 55.31%, and TP released to the overlying water displayed a removal efficiency of 67.14%—98.46%, with an average of 84.33%; 4) a decrease of 11.84%—79.32% (41.16% on average) of the release rate of COD_{Mn} from the sediment and a decrease

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(7103305)

收稿日期:2012-03-27; 修订日期:2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangrs@rcees.ac.cn

of -1.25% to 70.74%, with an average of 29.83% of the input of COD_{Mn} to overlying water was indicated. We also found that the effects of in-situ biological technology, with respect to the control of pollutant release from sediment, were affected by the extent of sediment disturbance during their normal operation. For integrated applications, technologies responsible for strong sediment disturbance should be coupled with technologies leading to small sediment disturbance in order to minimize any explosive release of pollutants and thus achieve a superior overall treatment effect.

Key Words: *in-situ* bioremediation technology; urban river; sediment pollutants

平原河网城市的河流众多,水流缓慢,使得可沉降物质沉积在河底,容易形成较厚的淤泥层。底泥在自然或人工扰动下的污染释放已经成为威胁水体水质安全的重要污染源之一^[1-4],也是城市水污染治理中的重要方面之一。

目前的底泥原位处理生物技术主要有人工曝气促进底泥氧化、底泥封闭、覆盖等^[5]几大类。与底泥的异位处理技术相比,底泥的原位生物修复技术有着成本相对较低,同时能减少疏浚带来的环境干扰等优点。但从研究成果来看,底泥原位处理技术在国外被运用来控制底泥污染释放的工程很多^[6-10],近年来在我国底泥污染治理的研究和应用中也逐渐得到重视^[11-14],但在技术实践应用的开发上,众多技术成熟且在水污染处理中被广泛应用,同时也具有底泥污染治理潜力的原位控制技术如生物浮床^[16]、原位生物接触氧化技术^[17]等主要是集中关注它们对水质污染的去除,对底泥污染治理的研究甚少涉及。为探索城市河道底泥污染释放治理的新途径,本研究将在水污染处理中具有良好应用的原位生态处理技术,如人工曝气技术、生态净水砖技术、生物填料技术和植物浮床技术,在应用上进行改进后,用于城市河道的底泥治理,研究这些原位处理技术对底泥污染释放的影响,尝试为河道底泥污染的原位处理提供新的探索,以期能为实际工程应用提供科学依据和相关指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究的河段位于扬州市居民区,是典型的闸控内河,东端与闸控水系自然连接,西端与排涝河通过 DN600mm 暗管相连,并有闸门控制,实际河段长度 1236m。由于长期的污水排放,河底沉积了高污染底泥,平均厚度达到 20cm 以上,使河道水体富营养化严重,水质属劣 V 类,夏季存在水体黑臭问题,影响沿河居住环境。

1.2 原位生态处理技术布置

配合正在实施的该河截污工程,本研究选取已布置的水污染治理工程技术(图 1):低位浮床技术(混种物种为黄菖蒲、西伯利亚鸢尾、美人蕉)、转刷曝气技术、原位生物接触氧化技术(聚乙烯空心球填料)和生态净水砖技术(包埋固化了发酵大豆杆状菌与多孔矿物颗粒)。其中,低位浮床是对传统植物浮床在应用中的改进,把生物浮床的支撑装置放置在水面以下,使植物根系接近底泥表层。

1.3 实验样品及测定指标

在 2011 年夏季(6 月 3 日—7 月 22 日之间)对工程运行期间的河道底泥的污染释放特征进行了跟踪测定。

1) 取样点 共设 4 个取样点,分别设在人工曝气技术处理区、生物填料技术处理区、生态净水砖技术处理区和生物浮床区内;每个样点取 3 个重复样品,取样周期为 1 周 1 次。

2) 底泥样品处理及测定指标 在实验室采用厌氧培养的方法模拟底泥的厌氧释放和对上覆水体的污染负荷。具体做法为:每个样点的 3 个重复样品采集后进行混合,取出一个混合样品,静置 24h 备用,在撇除表面积水后,将泥样灌入到 10L 玻璃瓶底部,平均深度约 8cm。用软管将河流水沿瓶壁缓缓注入瓶中,尽量不冲击底泥。将实验瓶静置 24h 使水澄清,将曝气头放入水中上半部分,开动氮气瓶向水体冲入氮气,驱赶水中溶

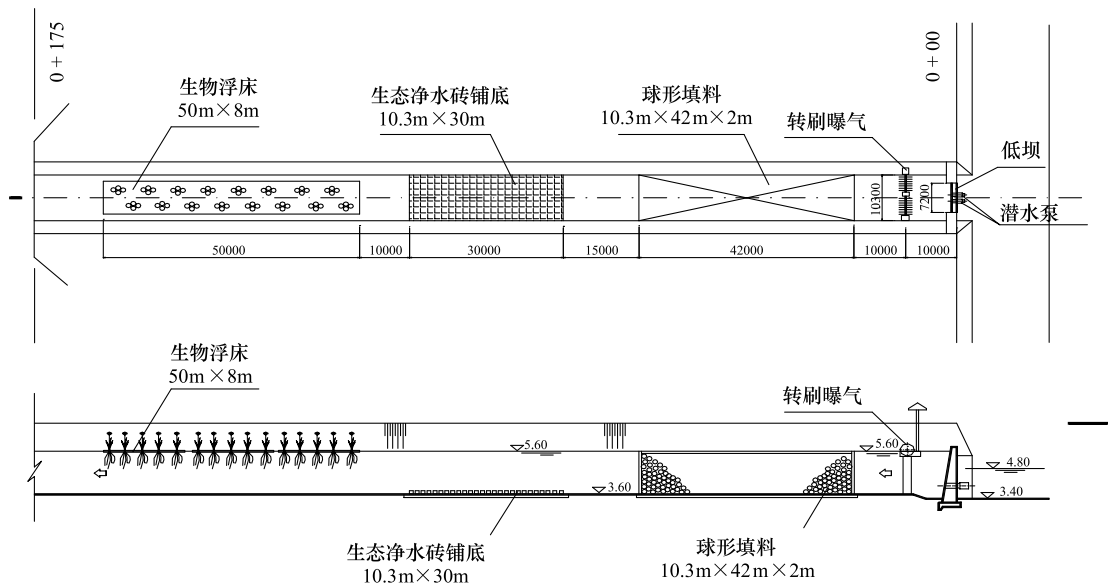


图1 河道内的工程布置图^[17]

Fig.1 Position of different treatments

解氧,直到溶解氧降为零,但不能搅动底泥。从实验瓶取样测定初始水质浓度,用橡胶塞盖紧瓶口。向瓶口与橡胶塞相交的沿口处倒少许水,以阻止空气从沿口处进入瓶内,保持实验瓶中处于厌氧状态,模拟实际河道底部溶解氧状态。每隔4d揭开瓶盖,取样测定水质,共测定4次。

样品主要测试指标包括氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、COD_{Mn}。其中,主要考虑耗氧污染物(有机物、氨氮、还原物质)对水体溶解氧降低的影响力,用COD_{Mn}指标反应这类物质的总和。其中,COD_{Mn}采用GB11914—89《COD测定重铬酸盐法》,NH₃-N采用GB7479—87,TN采用GB11894—89,TP采用国标GN1893—89。

表1 处理前底泥污染释放速率

Table 1 Release rate of pollutants of sediment

污染物 Items	NH ₃ -N /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	TN /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	TP /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	COD _{Mn} /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)
最小 Min	59.98	49.28	28.14	117.29
均值 Mean	127.69	153.17	71.78	272.77
最大 Max	183.05	268.16	198.37	378.95

3) 数据处理

底泥污染物释放速率是指单位面积底泥表面在单位时间内的释放的污染物量(mg·m⁻²·d⁻¹)。由实验数据计算出底泥释放速率为:

$$S_{Ci} = \frac{C_i \cdot V - C_{i-1}(V - \Delta V) - C_0 \cdot \Delta V}{\Delta T}$$

式中, S_{Ci} 为第*i*个时段内底泥污染释放速率(mg·m⁻²·d⁻¹); C_{i-1} 为第*i*个时段初期污染物浓度(mg/L); C_i 为第*i*个时段末期污染物浓度(mg/L); C_0 为置换的无氧蒸馏水中污染物浓度(mg/L); V 为实验瓶中水体积(L); ΔV 为实验瓶中置换的无氧蒸馏水体积(L); ΔT 为第*i*个时段的时长(d); A 为实验瓶断面面积(m²)。

实验数据收集后采用 excel2003 进行不同处理间及处理前后底泥污染释放对上覆水污染负荷贡献量的去除率,去除率计算表述如下:

$$\varphi = \frac{T_{S_{Ci}} - T'_{S_{Ci}}}{T_{S_{Ci}}} \times 100\%$$

式中, φ 为去除率; $T_{s_{C_i}}$ 为 T 处理措施运行中的底泥污染释放速率; $T'_{s_{C_i}}$ 为 T 处理措施运行后的底泥污染释放速率。

2 结果分析

2.1 对底泥氮释放的净化效果

2.1.1 氨氮

底泥中氨氮的释放速率经不同原位生物处理后,下降 50.3%—89.64%,平均为 59.27%。人工曝气技术处理区、生物填料处理区、生态砖处理区和低位浮床处理区的底泥在工程运行中的释放速率分别为 114.8、78.4、63.46 和 39.51 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$;在工程处理后期的释放速率分别为 11.89、42.51、30.78 和 19.63 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。研究发现,在工程运行中,人工曝气区底泥氨氮的释放速率明显高于生物填料区、生态砖区和低位浮床区;但在工程运行后,人工曝气区底泥氨氮的释放速率却明显低于生物填料区、生态砖区和低位浮床区,可能是因为工程运行过程中人工曝气对底泥的扰动比较大,造成水体的竖向混合,加速了底泥的释放。

底泥污染释放对上覆水氨氮负荷贡献量的去除率为 36.59%—82.67%,平均为 53.33%。在工程运行期间,底泥对上覆水质氨氮负荷在人工曝气技术处理区、生物填料处理区、生态砖处理区和低位浮床区的底泥在工程运行中的负荷分别为 0.15、0.085、0.041 和 0.026 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$;在工程运行后的负荷分别为 0.026、0.041、0.026 和 0.015 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

由于人工曝气技术对底泥的扰动比其他技术大,在工程运行期,人工曝气区中底泥对上覆水中氨氮的污染负荷仍然显著高于其他处理技术,但工程运行后人工曝气区的底泥对上覆水的氨氮负荷却小于其他处理技术区,说明人工曝气处理对底泥中氨氮污染的去除效果高于其他处理技术。

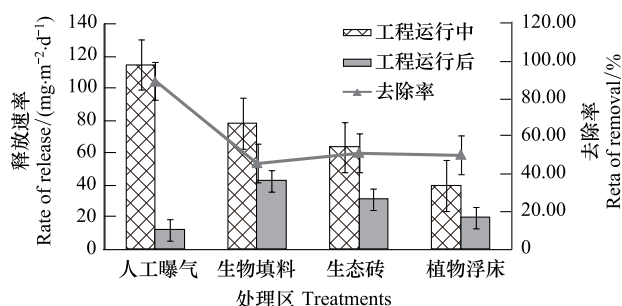


图2 工程运行中和运行后,底泥中氨氮释放速率

Fig.2 NH₃-N release rate of sediment during and after treatments

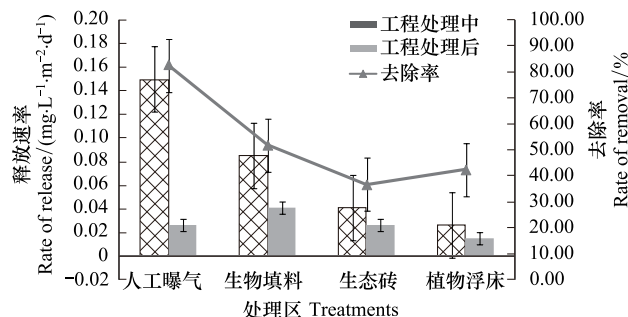


图3 工程运行中和运行后,底泥上覆水中氨氮负荷

Fig.3 NH₃-N load rate of overlying water during and after treatments

2.1.2 总氮

底泥中总氮的释放速率经不同原位生物处理后,下降 20.96%—88.94%,平均为 42.32%。人工曝气技术处理区、生物填料处理区、生态砖处理区和低位浮床区的底泥在工程运行中的释放速率分别为 147.21、83.53、71.35 和 42.20 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$;在工程处理后期的释放速率分别为 16.28、66.02、46.72 和 31.71 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。与底泥中总氮的污染释放规律相似,由于工程运行过程中人工曝气对底泥的扰动比较大,加速了底泥总氮的释放。因此,在工程运行中人工曝气区底泥总氮的释放速率明显高于生物填料区、生态砖区和低位浮床区;但在工程运行后,人工曝气区底泥总氮的释放速率却明显低于其他技术处理区。

底泥总氮释放对上覆水污染的污染负荷贡献量的去除率为 38.00%—67.06%,平均为 54.96%。由于各处理技术对底泥的扰动程度不同,在工程运行中,人工曝气区的底泥总氮释放对上覆水体的总氮负荷大于其他技术处理区。

2.2 对底泥总磷释放的净化效果

底泥中总磷的释放速率经不同原位生物处理后,下降 27.49%—91.00%,平均为 55.31%。人工曝气技

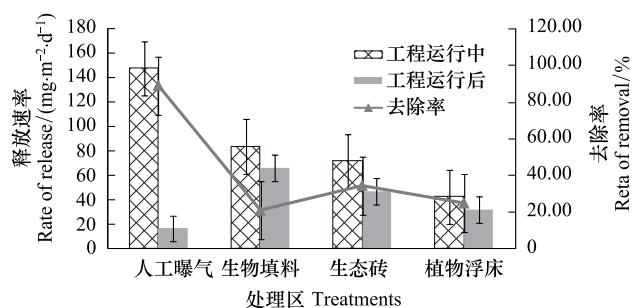


图4 工程运行中和运行后,底泥中总氮释放速率

Fig. 4 TN release rate of sediments during and after treatments

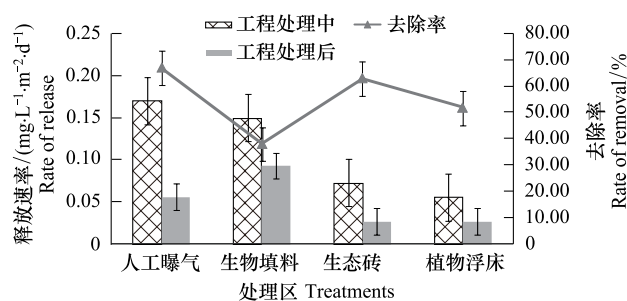


图5 工程运行中和运行后,底泥上覆水中总氮负荷

Fig. 5 TN load rate of overlying water during and after treatments

术处理区、生物填料处理区、生态砖处理区和低位浮床区的底泥在工程运行中的释放速率分别为 103.00、57.63、40.24 和 10.7 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; 在工程处理后期的释放速率分别为 9.27、31.17、29.18 和 4.62 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在各技术处理区,无论是工程运行中还是运行后,底泥中总磷的释放速率最低的是低位浮床区,处理效果小于其他处理技术处理区。

底泥总磷释放对上覆水总磷负荷贡献量的去除率为 67.14%—98.46%, 平均为 84.33%。在各技术处理区内,底泥对上覆水体总磷的负荷最小为低位浮床处理区,调研发现可能是因为植物的生长对底泥和水体中磷吸收的缘故。

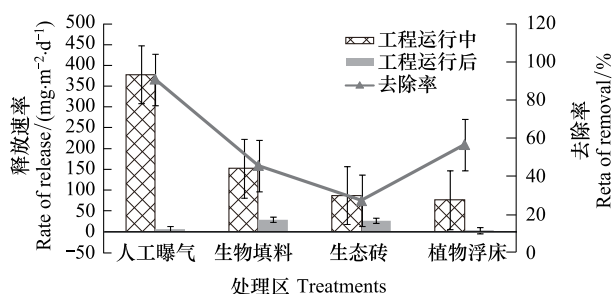


图6 工程运行中和运行后,底泥中总磷释放速率

Fig. 6 TP release rate of sediment during and after treatments

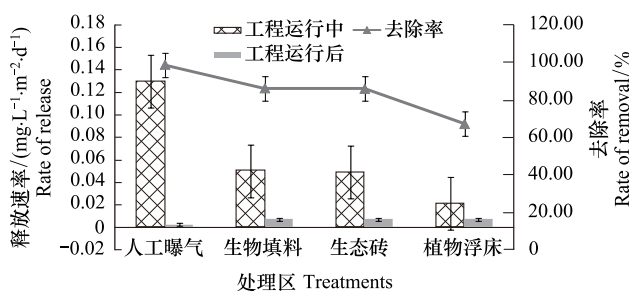


图7 工程运行中和运行后,底泥上覆水中总磷负荷

Fig. 7 TP load rate of overlying water during and after treatments

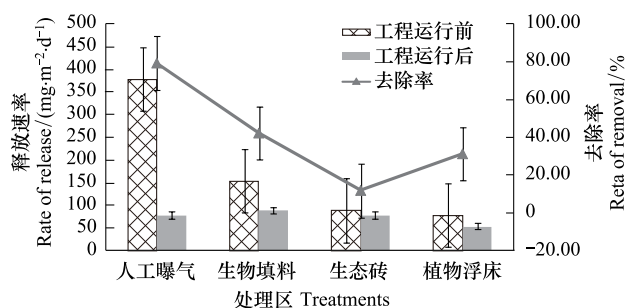
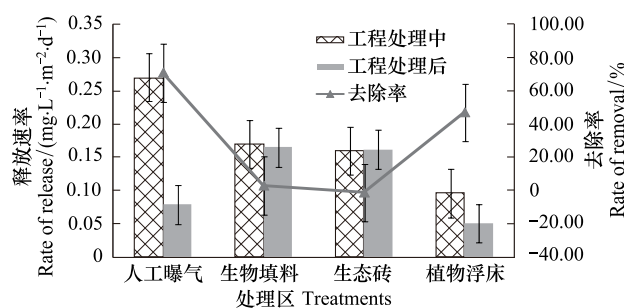
2.3 对底泥耗氧污染物(COD_{Mn})释放的净化效果

底泥中 COD_{Mn} 的释放速率经不同原位生物处理后,下降 11.84%—79.32%, 平均为 41.16%。人工曝气技术处理区、生物填料处理区、生态砖处理区和低位浮床区的底泥在工程运行中的释放速率分别为 378.95、153.82、88.88 和 78.36 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; 在工程处理后期的释放速率分别为 78.36、88.88、78.36 和 53.87 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。研究发现,底泥中 COD_{Mn} 的释放受扰动的影响较大,对底泥扰动较大的人工曝气技术处理区工程运行前后的 COD_{Mn} 的释放速度相差 300.59 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 变化最大。

底泥上覆水中 COD_{Mn} 的释放速率经不同原位生物处理后,下降 1.25%—70.74%, 平均为 29.83%。技术处理区内,底泥对上覆水体总磷的负荷最小为低位浮床处理区,调研发现是因为低位浮床覆盖下的水体受扰动最小,底泥表层的水体波动最小的缘故。在生态砖处理区,工程运行中的底泥上覆水体 COD_{Mn} 小于工程运行之后,可能是因为生态砖表面孔隙堵塞而造成底泥吸附不完全和底泥再悬浮造成的。

3 小结

工程运行中和运行后存在净化效果的阶段性波动,以及不同处理技术之间对不同污染物的净化效果存在较大差异,但总体处理效果显示,人工曝气处理技术、生物填料处理技术、生态砖处理技术和低位浮床处理技

图8 工程运行中和运行后,底泥中 COD_{Mn} 释放速率Fig.8 COD_{Mn} load rate of sediment during and after treatments图9 工程运行中和运行后,底泥上覆水中 COD_{Mn} 负荷Fig.9 COD_{Mn} load rate of overlying water during and after treatments

术对河道底泥的污染释放速率及上覆水污染负荷均具有很好的净化效果,对氨氮释放速率平均降低 59.2%,上覆水氨氮负荷贡献量平均减少 53.33%;对总氮的释放速率平均降低 42.32%,对上覆水总氮污染负荷贡献量的去除率平均为 54.96%;对总磷释放速率平均降低 55.31%,对上覆水总磷污染负荷贡献量的平均去除率为 84.33%;对 COD_{Mn} 的释放速率平均降低 41.16%,对上覆水污染负荷贡献量的平均去除率为 29.83%。

鉴于各技术在运行中的效果和和相关影响,在原位生态处理技术的实际应用中应主要考虑各技术对底泥的扰动,在进行集成应用的时候,对底泥扰动较大的技术,如人工曝气技术,应与对底泥扰动较小的技术,如低位浮床及或植被沉床技术,相间应用,以减少工程技术运行中对底泥扰动造成的污染爆发式释放。

References:

- [1] He B G, Zhou N S, Yuan X M. On contribution of sediment to secondary pollution of river. *Environmental Pollution and Control*, 1999, 21(3): 41-43.
- [2] Yu G W, Lei H Y, Liu G L, Bai T, Liu K S, Chen R W. Research on the characteristics of sediment release in a heavily polluted tidal river and control technologies. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(9): 1476-148.
- [3] Mao Y F, Zhu P L, Wu H M. Analysis on urban water environment. *Journal of Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College*, 2009, 21(1): 65-67.
- [4] Cao C J, Chen Z L, Wang J, Huang M S, Qian C P, Liu L. Review of sediment ecological dredging in urban black-odors river treatment. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2011, 1(1): 32-42.
- [5] Sun F, Zeng Y S, Chen J N. Assessment of techniques for sediment pollution control within eutrophic lakes. *Techniques and Equipment For Environmental Pollution Control*, 2003, 4(8): 61-64.
- [6] Murphy T P, Lawson A, Kmngai M, Babin J. Review of emerging issues in sediment treatment. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1999, 2(5): 419-434.
- [7] Renholds J. In Situ Treatment of Contaminated Sediments. Washington, D C; Technology status report prepared for the U. S. EPA Technology Innovation office, 1998: 7-9.
- [8] MarUke M A. Ferdinand-Van Vlerken. Chances for biological techniques in sediment remediation. *Water Science and Technology*, 1998, 37(6/7): 345-353.
- [9] Ao J. Reviews on development of release control techniques of contaminated sediment. *Environmental Protection Science*, 2004, 30(6): 29-35.
- [10] Chiang Y W, Santos R M, Ghyselbrecht K, Cappuyns V, Martens J A, Swennen R, Van Gerven T, Meesschaert B. Strategic selection of an optimal sorbent mixture for in-situ remediation of heavy metal contaminated sediments; framework and case study. *Journal of Environmental Management*, 2012, 105(30): 1-11.
- [11] Yu G W, Lei H Y, Bai T, Li Z, Yu Q, Song X Q. In-situ stabilisation followed by ex-situ composting for treatment and disposal of heavy metals polluted sediments. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(7): 877-883.
- [12] Liu X W, Xie D P, Li K M, Jin Z, Jiang D, Li M Y. Study on bioremediation technology of polluted sediments in urban river. *Ecological Science*, 2011, 30(6): 630-635.
- [13] Liu X W, Xie D P, Li K M, Jin Z, Jiang D, Li M Y. Research on the impact mechanism of different aeration level on biogeochemical cycling of nitrogen in sediments. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(11): 1713-1719.

- [14] Zhu L Y, Zhang Z Z, Zhou Q X. Research progress of in situ capping materials for contaminated sediment remediation. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(4): 645-651.
- [15] Jiang Y W, Hu X L, Xu Z L, Liu H C. Study and demonstration on application of the Planted the in Floating Platform to restore water quality. *Beijing Water Resources*, 2003, (6): 20-22.
- [16] Zhang H, Wen D H, Li L, Xie S G. Bypass demonstration work of the step-feeding biological contact oxidation process for river water purification. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(4): 677-684.
- [17] Wang J H, Cong H B, Liu M. Research on application of in-situ biological technology on water quality improvement in urban beheaded river. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(4): 13-17.

参考文献:

- [1] 贺宝根, 周乃晟, 袁宣民. 底泥对河流的二次污染浅析. *环境污染与防治*, 1999, 21(3): 41-43.
- [2] 余光伟, 雷恒毅, 刘广立, 白涛, 刘康胜, 陈若维. 重污染感潮河道底泥释放特征及其控制技术研究. *环境科学学报*, 2007, 27(9): 1476-1483.
- [3] 毛益飞, 朱培梁, 吴红梅. 城市河道水环境现状分析及改善措施探讨. *浙江水利水电专科学校学报*, 2009, 21(1): 65-67.
- [4] 曹承进, 陈振楼, 王军, 黄民生, 钱嫦萍, 柳林. 城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展. *华东师范大学学报; 自然科学版*, 2011, 1(1): 32-42.
- [5] 孙傅, 曾思育, 陈吉宁. 富营养化湖泊底泥污染控制技术评估. *环境污染治理技术与设备*, 2003, 4(8): 61-64.
- [9] 敖静. 污染底泥释放控制技术的研究进展. *环境保护科学*, 2004, 30(6): 29-35.
- [12] 刘晓伟, 谢丹平, 李开明, 金中, 江栋, 李明玉. 城市河道底泥污染生物修复技术研究. *生态科学*, 2011, 30(6): 630-635.
- [13] 刘晓伟, 谢丹平, 李开明, 金中, 江栋, 李明玉. 曝气复氧对底泥氮素生物地球化学循环影响的作用机制研究. *生态环境学报* 2011, 20(11): 1713-1719.
- [14] 祝凌燕, 张子种, 周启星. 受污染沉积物原位覆盖材料研究进展. *生态学杂志*, 2008, 27(4): 645-651.
- [15] 井艳文, 胡秀琳, 许志兰, 刘虎城. 利用生物浮床技术进行水体修复研究与示范. *北京水利*, 2003, (6): 20-22.
- [16] 张辉, 温东辉, 李璐, 谢曙光. 分段进水生物接触氧化工艺净化河道水质的旁路示范工程研究. *北京大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(4): 677-684.
- [17] 王金辉, 丛海兵, 柳敏. 原位生物处理技术在改善城市断头河水质研究. *水生态学杂志*, 2011, 32(4): 13-17.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso- and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吕永龙

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元