



基于生态清淤耦合生态恢复的水环境污染负荷削减

杨旺旺¹, 钱泽朋¹, 王琦², 黄佳音¹

(1. 中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202; 2. 中交天航环保工程有限公司, 天津 300461)

摘要: 为探究生态清淤耦合生态恢复技术措施对污染水体恢复的作用, 选取水体水质指标总磷、总氮、化学需氧量为研究对象, 依托白洋淀内源污染治理试点工程项目, 针对目标鱼塘设置原位治理区、原状保留区、生态清淤耦合生态修复区 3 种工况, 通过连续采样检测, 获得了不同工况下的水质变化规律。研究结果表明: 1) 采用生态清淤和原位修复措施均可使水体总磷、总氮、化学需氧量提升至地表水 V 类水标准, 但水体水质难以达到地表水 III 类水标准; 2) 相较于仅用单一的原位修复技术, 生态清淤耦合生态恢复技术更具优势, 一定时间后水体总磷、总氮、化学需氧量指标可达到地表水 III 类水标准。

关键词: 白洋淀; 生态清淤; 原位治理; 生态修复; 污染负荷

中图分类号: U 616; X 55

文献标识码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0011-04

Water pollution load reduction based on ecological dredging coupled with ecological restoration

YANG Wang-wang¹, QIAN Ze-peng¹, WANG Qi², HUANG Jia-yin¹

(1. CCCC Tianjin Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300202, China;

2. CCCC-TDC Environmental Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: To explore the effect of ecological dredging coupled with ecological restoration technology on the restoration of polluted water, water quality indexes named total phosphorus, total nitrogen and chemical oxygen demand are selected as the research objects. Relying on the Baiyangdian endogenous pollution control pilot project, three working conditions are set for the target fish ponds: in situ management area, original retention area and ecological desilting coupled ecological restoration area. Through continuous sampling and detection, the variation rules of water quality under different working conditions are obtained. The results show as follows: 1) The use of ecological dredging and in-situ restoration measures can promote the total phosphorus, total nitrogen, and chemical oxygen demand of the water to increase to the surface water Class V water standard, but the water quality is difficult to reach Class III water standard; 2) Compared with only a single in-situ restoration technology, the ecological dredging coupled with ecological restoration technology has more advantages. After a certain period of time, the total phosphorus, total nitrogen and chemical oxygen demand indicators of the water will reach the surface water Class III.

Keywords: Baiyangdian; ecological dredging; in-situ treatment; ecological restoration; pollution load

水体内源污染治理常采用原位治理^[1]和生态清淤技术^[2], 前者侧重阻止或削弱底泥中污染物进入上覆水体, 后者侧重直接清除底泥中污染物。

而在重污染水体修复问题上, 工程界则倾向采用生态清淤措施, 然而是否需要采用生态清淤措施一直是学术界争议的焦点问题。主张清淤的学者

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 杨旺旺(1991—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为环保疏浚与水环境治理。

认为清淤主要清除流泥和污泥，不会对水环境造成较大破坏，如国内太湖、溧湖^[3]、西湖^[4]等地水质的明显改善主要得益于河道清淤^[5]。反对清淤的学者一方面认为将截污做好，底泥污染问题便可迎刃而解；另一方面认为大范围清淤投资大，小范围清淤对整个水体改善作用小，一定时期后清淤区和未清淤区营养盐含量将相差不多^[6]，而且会破坏生态系统。目前国内在开展生态清淤之前，往往先开展试点工程^[7]，综合评估清淤效果后再进行后续治理。

为验证生态清淤对水环境改善的影响，本文依托白洋淀内源污染治理工程^[8]开展现场试验研究，重点分析不同措施对水体污染负荷削减量，从而对生态清淤工程效果做出客观评价。本文研究成果将对水域水环境综合治理技术方案的编制和决策提供技术支撑，在是否清淤问题方面也具有一定的参考意义。

1 工程概况

1.1 研究区域位置

研究区域位于白洋淀南刘庄村，如图 1 所示，研究区域分为 1~3 区，均为废弃鱼塘，四周有围堰，水深约 1 m，污泥厚度约 20 cm。其中 1 区为原状保留区，面积为 0.258 7 万 m²；2 区为原位治理区，面积为 0.373 5 万 m²；3 区为生态清淤+生态恢复区，面积为 2.108 4 万 m²。



图 1 研究区域位置

1.2 水环境现状

研究区域存在的生态环境问题主要表现在鱼塘区水质较差，水体透明度低，底泥发黑发臭，污染严重。现场采集水样进行检测分析，结果见表 1。

表 1 水质指标检测结果 mg/L

区域	TN	TP	NH ₃ -N	COD
1	3.45	0.75	0.89	56
2	2.31	0.56	0.65	58
3	3.78	0.65	0.72	62

由表 1 可知，3 个区域的 TN、TP、COD 均较高，超出地表水 V 类水指标限值，在无外源输入、无养殖的情况下该部分污染基本由底泥释放而来；由于 NH₃-N 指标数值较低，后文将只讨论 TN、TP 和 COD。

2 研究方法

2.1 生态清淤耦合生态恢复技术

考虑生态清淤区（1 区）环境条件和后期生态恢复底质改良措施的施工便利性，生态清淤作业首先使用水泵进行排水施工，其次使用水陆两栖挖掘机开挖排水沟，然后利用水泵将沟内水体外排，直至排水沟内水位高度低于清淤后泥面高程，排水的同时进行鱼塘晾晒，最后利用湿地推土机一次性开挖至清淤底高程，施工过程实时进行检测，指导现场施工，避免超挖。生态清淤施工流程见图 2。

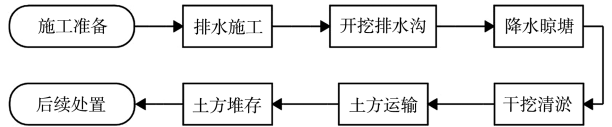


图 2 生态清淤施工流程

生态清淤结束后，首先投放沉水植物，然后投放底栖动物，最后栽植湿生及挺水植物，最终实现对水下动、植物群落生态系统的构建与恢复，工艺路线见图 3。湿生植物主要品种选择 2 种：鸢尾、千屈菜；沉水植物主要品种有 3 种：（改良）苦草、伊乐藻、轮叶黑藻；挺水植物主要品种选择 3 种：香蒲、芦苇、荷花；水生动物中鱼类主要品种选择 2 种：黑鱼、鳊鱼；底栖动物主要品种选择 2 种：青虾、螺类，浮游动物主要品种选择 1 种：（改良）浮游动物大型溞。



图 3 生态修复工艺路线

2.2 原位修复技术

原位修复技术主要是靠微生物快速消解底泥污染物, 创造良好的底质条件从而建立水体自净机制。针对原位修复区(2 区), 首先采用底质改良型白洋淀本土微生物复合菌剂进行底质改良, 改善底泥环境, 为后续生态系统的恢复奠定基础;

其次安装推流式曝气机; 然后进行沉水植被的栽植; 之后采用水质调控型白洋淀本土微生物复合菌剂进行水质调控, 提升水体的透明度, 保证沉水植被的存活率; 最后待水生态系统稳定后投放水生动物, 完善水体的食物链, 保证生态系统的平衡。具体工艺路线见图 4。

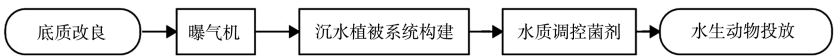


图 4 原位修复工艺路线

2.3 试验方案设计

本文以水质指标 TP、TN 和 COD 研究为主, 设定水质监测周期为 3 个月, 研究的 2 种技术方案为生态清淤耦合生态恢复综合技术、原位修复技术, 其中生态清淤结束后 14 d 开始进行生态修复。

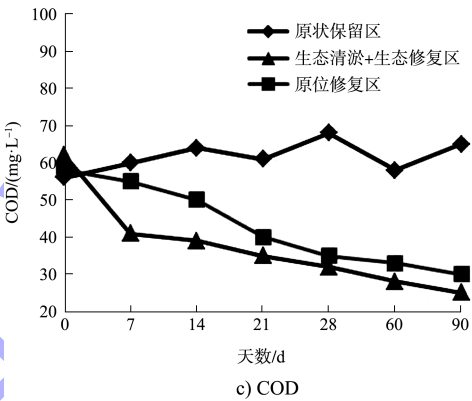


图 5 水质指标变化

3 结果分析与讨论

3.1 水质指标变化分析

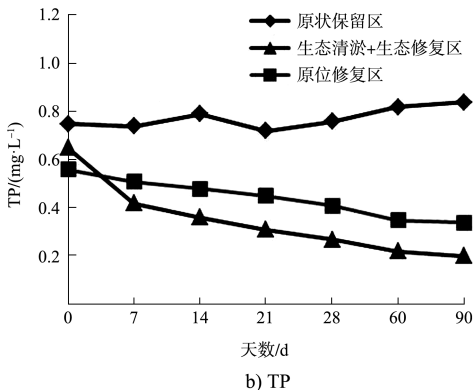
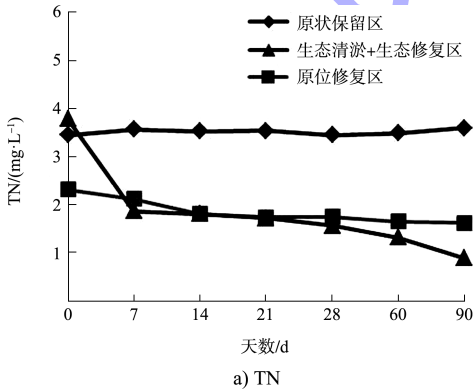
根据水质指标连续检测数据绘制水质变化图, 见图 5。

由图 5 可知:

1) 原状保留区水质基本维持不变, 处于劣 V 类状态。3 区在生态清淤结束 7 d 后, 水体 TN、TP、COD 含量迅速下降。TN 含量由 3.78 mg/L 下降至 1.86 mg/L, 达到地表 V 类水标准; TP 含量由 0.65 mg/L 下降至 0.42 mg/L; COD 含量由 62 mg/L 下降至 41 mg/L。

2) 在生态清淤完成并实施生态修复措施后, 水体 TN、TP、COD 含量逐步下降。60 d 后水体 TN 含量下降至 1.32 mg/L, 达到地表 IV 类水标准; 90 d 后水体 TN 含量下降至 0.89 mg/L, 达到地表 III 类水标准。14 d 后水体 TP 含量下降至 0.36 mg/L, 达到地表 IV 类水标准; 28 d 后水体 TP 含量下降至 0.27 mg/L, 达到地表 III 类水质标准; 90 d 后水体 TP 含量下降至 0.20 mg/L, 达到地表 II 类水质标准。14 d 后水体 COD 含量下降至 39 mg/L, 达到地表 V 类水标准; 60 d 后水体 COD 含量下降至 28 mg/L, 达到地表 IV 类水标准。

3) 实施原位修复措施后, 水体 TN 和 TP 含量



逐步下降。14 d 后水体 TN 含量由 2.31 mg/L 下降至 1.80 mg/L, 达到地表 V 类水标准, 其后 TN 含量维持在地表 V~Ⅳ类水; 60 d 后水体 TP 含量由 0.56 mg/L 下降至 0.35 mg/L, 达到地表 V 类水标准, 其后 TP 含量维持在地表 V~Ⅳ类水; 21 d 后水体 COD 含量下降至 40 mg/L, 达到地表 V 类水标准, 90 d 后水体 COD 含量下降至 30 mg/L, 达到地表Ⅳ类水标准。

3.2 污染负荷削减分析

根据 90 d 内原位修复和生态清淤+生态恢复污染负荷削减量数据, 绘制水质污染负荷削减图, 见图 6。由图可知: 1) 相比于原位修复措施治理效果, 生态清淤在 TN 污染负荷削减上具有明显优势, 在 TP 污染负荷削减上 2 种措施相差不多, 但在 COD 的去除上, 原位修复措施更有优势; 2) 相比于原位修复措施治理效果, 基于生态清淤的生态修复措施在 TN、TP、COD 污染负荷削减上, 均具有显著优势。

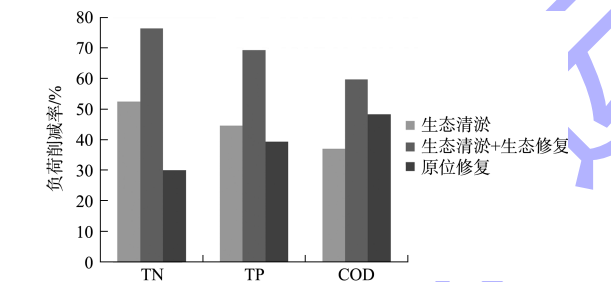


图 6 水质污染负荷削减

4 结论

1) 在无外部污染源输入的前提下, 清除水下污染底泥后, 水体水质可快速好转, 其原因主要在于底泥对污染物具有吸附作用, 由于下层底泥

未受污染或受到轻度污染, 与上覆水接触后可快速吸附水体污染物, 促使水体水质转好。

2) 采用生态清淤措施后, 水体主要指标可达到地表 V 类水标准; 若要进一步提升水体水质, 需要耦合生态修复措施, 通过水下良好的生态系统促进水体改善。

3) 若不开展生态清淤直接采用原位修复措施, 水体水质也可提升至地表 V 类水标准, 但水质恢复周期较长, 且水质很难提升至地表Ⅲ类水标准。相较于仅用单一的原位修复技术, 生态清淤耦合生态恢复技术更具优势。

参考文献:

[1] 杨逢乐, 金竹静. 城市河流原位治理技术研究进展[J]. 环境科学导刊, 2008(2): 1-4.

[2] 杨代亮. 河道生态清淤及淤泥处理技术探讨[J]. 科学技术创新, 2018(18): 99-100.

[3] 杨杏君. 生态清淤技术在湖泊治理中的应用[J]. 江苏水利, 2013(3): 30-33.

[4] 可建伟, 彭建军, 王建敏. 环保疏浚技术在西湖治理工程中的应用[J]. 科技信息, 2010(15): 702, 725.

[5] 周银明, 王卫星. 竺山湖生态清淤试验工程[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2009, 21(1): 26-29.

[6] 胡晓东, 张建华, 吴沛沛, 等. 基于氮、磷释放的太湖生态清淤时间效应研究[J]. 水利水电技术, 2016, 47(10): 58-61, 72.

[7] 黄俊杰. 浅水湖泊生态清淤试点研究: 以巢湖为例[J]. 山东化工, 2021, 50(13): 246-248.

[8] 李成瑶, 程立, 王同飞, 等. 白洋淀典型区域清淤前后沉积物的氮磷扩散通量研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(4): 1401-1409. (本文编辑 王传瑜)

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。