

Experimental Study on Rehabilitation of Natural Lake Water by Aeration and Plants Combined Method

Shuda Ma, Zhe Zhao, Weifeng Ruan, Xueying Tao

School of Resources and Materials, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao Hebei
Email: 1838774862@qq.com

Received: Sep. 30th, 2017; accepted: Oct. 19th, 2017; published: Oct. 26th, 2017

Abstract

The minitype lake in Qinhuangdao beidaihe wetland park was remediated by physical method of aeration and phytoremediation. The results showed that most of COD (Chemical Oxygen Demand), TP (Total Phosphorus), ammonia nitrogen and turbidity in the lake water were removed after 150 days combined remediation. The values of COD, ammonia nitrogen, TP and turbidity were less than 23 mg/L, 0.7mg/L, 0.50 mg/L and 11.85 ntu, and the removal rates were 50%, 67.5%, 68.1% and 42.45%, respectively.

Keywords

Phytoremediation, Eutrophication, Lake Water, Aeration Purifying

曝气 - 植物法修复天然小型湖泊实验研究

马淑达, 赵 喆, 阮伟峰, 陶雪莹

东北大学秦皇岛分校, 资源与材料学院, 河北 秦皇岛
Email: 1838774862@qq.com

收稿日期: 2017年9月30日; 录用日期: 2017年10月19日; 发布日期: 2017年10月26日

摘 要

利用物理曝气和植物生态修复技术对秦皇岛市北戴河湿地公园的一个小型湖进行了修复治理。研究结果表明, 经过150 d的联合修复, 该湖水中的COD、氨氮浓度及浊度都有了大幅度的下降。其中COD降至23.00 mg/L以下, 去除率达到50%以上; 氨氮降至0.70 mg/L以下, 去除率达67.50%; 总磷降低至0.50

mg/L以下, 去除率达到68.10%以上; 浊度降至11.85 ntu, 下降幅度达42.45%。

关键词

植物修复, 富营养化, 湖水, 曝气净化

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湖泊富营养化已成为全球性的水环境问题, 引起了国内外广泛关注。随着人类对环境资源的开发利用活动日益增加, 大量含氮、磷等营养物质的污水排入湖泊、水库和河流, 超出了这些水体的环境容量; 为了提高农作物产量, 农田施用的化肥和牲畜粪便逐年增加, 经雨水冲刷和渗透, 进入水体的营养物质不断增多。这些人为因素的影响使湖泊及水库水体的污染及富营养化问题日益严重。曝气技术是能在较短的时间内提高水体的溶解氧水平, 增强水体的净化能力, 对解决突发性的水质恶化、消除水体黑臭有明显效果。但该技术只能对水体的局部供氧, 很难满足整个水体的好氧环境, 只能作为污染水体处理的辅助手段。近年来, 国内外研究了多种水生植物对氮磷营养物质的去除效果, 结果表明: 挺水植物、沉水植物、浮水植物都能有效吸收水体中的氮、磷, 降低水体的富营养化水平, 尤其对去除氨氮有显著效果[1][2]。本研究采用曝气-植物联合修复法, 利用曝气机和栽种多种水植物的生态浮岛布置到富营养化的水体中, 通过经济有效的人工手段, 修复湖体及周围环境, 使其对污染物质具有强净化能力, 且有利于恢复水体生态功能, 水生植物分解转化水体中的有机污染物及吸收营养物质, 达到抑制藻类过量繁殖, 改善底泥性状, 达到净化水体的目的。

2. 实验材料

2.1. 实验对象

实验对象为秦皇岛市北戴河区海滨大道以西, 新河路以北森林湿地公园区域内, 主要为湿地内新河东岸临近湿地中的两个湖中的一个, 森林湿地上游从野生动物园流入的湿地水量补给小河, 新河西岸自湿地外农田流入流经花甸、杨槐林并最终汇入新河的小薄荷寨支流。小湖相对较封闭独立, 面积约为 1004 m², 自然土底质, 原为养虾池, 现湖内育有草鱼等多种鱼类, 景观水体浑浊, 透明度不高, 夏季富营养化严重, 水体泛红, 有很大的腥臭味。湿地上游小河平均宽约 5 米, 自新河桥到分岔处长约 300 m, 水质较差, 水体浑浊, 部分死角区水体油腻呈灰黑色, 局部水面藻类堆积, 水体富营养化严重, 水质情况见表 1, 天然湖的平面图和曝气设备即生态浮岛具体位置见图 1。

2.2. 实验材料

2.2.1. 植物来源

在查阅了大量资料并且深入实地调查和比较, 本着因地制宜的原则, 确定采用的实验植物为高等水生植物, 例如: 千屈菜、黄色鸢尾、芦苇、美人蕉、黑麦草、荷花等。并把挺水植物栽种于浮岛上, 浮水植物栽种于曝气机旁。浮岛选取的栽种植物为黄色鸢尾、美人蕉、千屈叶、黑麦草, 曝气机旁栽种的

Table 1. Initial index of the experiment water**表 1.** 实验水体初始指标

项目名称	NH_3-N /(mg/L)	COD /(mg/L)	TP /(mg/L)	浊度/ntu
中间浮岛群	1.95	48.30	0.58	23.00
曝气机中间	2.04	43.11	0.48	18.40

**Figure 1.** Aerator and ecological floating islands localities of natural Lake Water**图 1.** 天然湖的平面图及曝气设备和生态浮岛的具体位置

植物为荷花。荷花于夏末时节栽种。

2.2.2. 实验设备

实验过程所使用的两台曝气机和生态浮岛均为上海欧保环境科技有限公司生产出品，其设备信息如表 2。

2.3. 实验方法

为了全面客观的反映湖水水质变化情况，在小湖中共选取两个点位，实验前期选取了两个采样点进行监测，一是两个曝气机之间，二是生态浮岛群；后期在距离浮水喷泉式曝气机 3 米处栽种荷花后，观察浮水植物和曝气作用对湖水营养物质的共同影响。

2.4. 测试方法

化学需氧量(COD_{Cr}): 重铬酸钾法；氨氮(NH_3-N): 纳氏试剂分光光度法；总磷(TP): 钼酸铵分光光度法；浊度: 浊度仪法。

3. 结果及讨论

3.1. 曝气 - 植物对氨氮的去除

实施治理工程前，天然湖的水体氨氮平均浓度为 2.0 mg/L，实施治理后，氨氮平均浓度下降至 0.65 mg/L，

下降了约 67.5%。根据汤迪娟[3]的研究, 将 1 g 氨氮转化为硝态氮大约需要 4.5 g 的 O₂, 因此在溶解氧含量较高的地方才能进行硝化。因水中的溶解氧主要来自植物根系的输氧作用和由空气溶入水中的氧, 所以植物的供氧能力决定了氨氮的去除效果。氨氮的去除主要是植物和微生物的共同作用, 且植物吸收占主导作用, 而浮岛上的填料能给微生物提供优良的附着条件, 从而促进氨化、硝化及反硝化作用的进行, 达到去除水体氨氮的效果。5 月份至 7 月份是植物生长旺季, 温度和光照适宜, 有利于植物的光合作用, 增强水体氧气含量, 加上曝气机的作用, 使前期氨氮的含量稳步下降。

在监测中发现, 持续曝气引水环流措施对水体氨氮浓度产生了较大的影响, 在水体循环流动时, 氨氮浓度会大幅度下降, 由图 2 可知, 最低分别可达 0.34、0.21 mg/L; 在停止曝气后, 氨氮浓度则逐步回升, 这可能主要是因为天然湖半封闭性的水体环境中, 存在着大量的营养盐和有机污染物, 在自然状态下不能得到有效的输出, 在通过工程治理加强水体流动和增加水体溶解氧浓度后, 可促进水体溶解氧均匀分布和植物、微生物对污染物的吸收、吸附和降解, 达到转换污染物存在形式和减缓底泥中营养盐释放的效果[4] [5] [6], 但在措施停止之后, 湖泊中积累的污染物仍然会呈周期性的循环或迁移释放, 使氨氮浓度有升高表现[7]。

根据监测曝气和生态浮岛对氨氮都有较好的去除作用, 氨氮浓度呈下降趋势; 在曝气机的氨氮浓度总体比浮岛群的氨氮浓度低, 说明曝气对于氨氮的去除效果比水生植物的去除效果好。

3.2. 曝气 - 植物对 COD 的去除

从图 3 可知, 生态浮岛系统和曝气机对于有机物的降解, COD 的降低起到了一定作用。实验初期, COD 浓度呈直线下降趋势, 其去除率分别达到了 22.11% 和 26.70%。随着植物的生长, 生长茂盛的根系为微生物的吸附和繁殖提供了较好的生存环境, 而微生物的降解也会消耗大量有机物。随着时间推移,

Table 2. Specification parameter of major equipments
表 2. 主要设备规格参数

设备名称	规格型号
强力造流曝气机	NOZZLE-A2200
浮水喷泉式曝气机	FANS2200
浮田型浮岛	FORTUNED

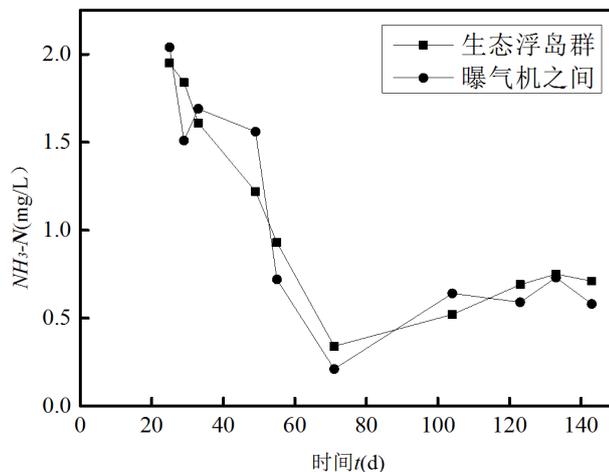


Figure 2. Variation of NH₃-N
图 2. 氨氮浓度变化曲线

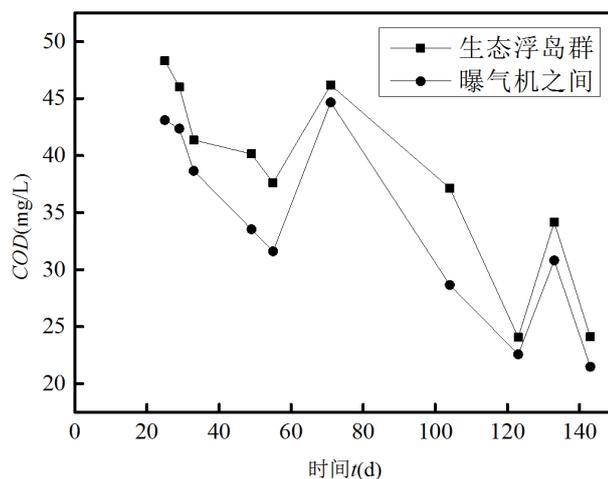


Figure 3. Variation of COD

图 3. COD 浓度变化曲线

水体中营养盐浓度降低, 植物所需的营养盐逐渐缺乏, 有机物的扩散作用成为影响植物吸收利用和微生物降解的主要因素, 有机物的降解变慢, 有机物的含量逐渐下降。根据刘勇[8]的研究表明, 美人蕉发达的根系为水体微生物提供了良好的附着载体; 美人蕉的填料生态浮床对 COD 有很强的去除能力, 是由于浮床植物与填料同时发挥作用, 促使微生物能在附着载体上大量生长繁殖并形成生物膜, 从而强化生态浮床系统对有机物的降解作用。曝气机则大量提升水体溶解氧含量, 曝气环流可以防止有机物沉积, 并充分发挥好氧微生物的降解作用, 而且扬水曝气过程中也利于去除易溶于水易挥发的有机物, 使水体的 COD 下降。

在实验中期, 两组 COD 值都普遍升高, 这是由于夏季降雨量偏大, 外源污染较严重, 导致湖泊水体 COD 值增加。并还可能是水体自身有藻类沉降分解导致。实验后期 COD 浓度一直处于降低趋势, 虽偶尔因天气原因导致湖泊中有机物升高, 但总体去除效果较稳定。实验结束 COD 的去除率分别为 50.0% 和 50.2%, COD 的平均浓度为 22.80 mg/L, 较工程实施前的平均浓度 45.70 mg/L 下降了 50.13%, 说明生态浮岛和曝气对 COD 的去除能力基本相当, 并且效果较为显著。

3.3. 曝气 - 植物对总磷的去除

曝气可以使总磷降低, 水生植物也能有效去除污水中的总磷, 随着实验时间的推移水体总磷浓度明显下降, 生态浮岛的去除效率在在初期呈直线性上升, 分别达到 17%、24%、38%。去除效果明显, 这是因为实验前期水体中营养充分, 植物的吸收速度快, 去除效果较好。在后续的实验过程中, 由于水体中的营养盐降低和溶解氧的消耗, 减慢了植物的生长代谢活动, 也抑制了植物对磷的吸收和利用, 因此在后期实验中, 磷的吸收呈现出缓慢的降低, 同时由于天气条件的变化和监测的误差等因素的影响而出现一定的波动。

磷的去除一方面是其以磷酸盐沉降并固结在基质上, 另一方面是可给性磷被植物吸收。由图 4 可知, 生态浮岛和曝气机的变化曲线基本一致, 由于水生植物其发达的根系, 特别是美人蕉[9], 其能吸附大量磷酸盐, 使总磷含量迅速降低。在随后试验期间曝气机除磷效果均趋于平缓, 增长幅度较小。生态浮岛之后较为波动的原因是未及时护理浮岛导致杂草生长使水生植物生长环境受到影响, 在及时清理浮岛后总磷含量也呈下降趋势。在最后监测结果表示浮岛和曝气机两组的总磷去除率在达到 64.55% 和 71.69%。

生态浮岛对磷的去除, 主要通过沉淀作用、吸附作用以及植物的吸收和有机物质的积累等来实现, 且磷易被富含 Fe、Al 及 Ca 等的矿物质吸附[10]。植物和大多数微生物均无法直接吸收和利用有机磷及

溶解性较差的磷酸盐, 只有通过微生物转化为溶解态磷酸盐才能被植物和微生物吸收[11]。而通常植物对磷的吸收作用较低, 且在封闭环境内微生物吸附磷无法排出, 除磷作用亦不明显[12] [13]。同时曝气除磷过程具有复杂性, 曝气可能对总磷通过沉淀、吸附和粘附等作用的去除产生有利的影响, 从而促进了总磷的去除效果, 其作用机理有待进一步研究。

3.4. 曝气 - 植物对油度的去除

浊度是表征水体的颜色和浑浊程度的指标, 有研究指出, 悬浮物尤其是泥沙、腐殖酸、藻类等非溶解态的悬浮物可导致水体浑浊和异色。而在水生态系统中, 植物产生的枯落物被认为是水体物质和能量的重要来源[14]。在王桢桢[15] [16]等人的研究中, 植物枯落物进入封闭或半封闭水体, 可向水体输送高水平的有机物和营养盐, 这些有机物和营养盐主要来自于枯落物的腐烂分解, 这是导致封闭景观水体发生水质污染的主要原因。该过程中产生的腐殖酸类物质及腐烂残渣会引起水体浊度上升、颜色变深发黑, 又由于景观水体本身自净能力较低, 最终导致水体发生严重的表观污染。北戴河湿地小型湖泊是较封闭的景观水体, 周边为泥沙地面, 降雨径流携带的泥沙易于进入水体, 水中植物残体等沉积物较多, 且营养盐丰富, 适宜藻类等浮游植物生长, 故非溶解态物质中泥沙等无机颗粒较少, 在一定条件下, 腐殖酸、泥沙和藻类影响了水体的浊度。夏季雨水充沛, 使水体浊度有波动变化, 浮岛上的植物产生的落叶等腐殖质也会影响浮岛周边水体的浊度, 由于曝气提高水体溶解氧, 使水体 COD 降低, 利于去浊; 曝气还使水中悬浮物质絮凝, 直接促使水体变清, 使得曝气机周边水体浊度迅速下降。

随着水体中有机物、氨氮及总磷等指标的去除, 水体的浊度也在不断下降。150 d 的实验过程中浊度的变化曲线见图。从图 5 可看出, 在整个试验过程中, 生态浮岛群和曝气装置中, 浊度总体呈下降趋势, 在间隔曝气的实验期间和清理浮岛 3 次后, 最后监测的浊度值分别为 12.60 ntu 和 11.10 ntu, 分别下降了 45.2% 和 39.7%。

4. 结论

(1) 向富营养化湖水放置曝气机和生态浮岛, 能有效地降低水中的 COD、氨氮、总磷和浊度, 向水体中培养一定量的浮水植物可以强化净化作用。

(2) 处理情况易受天气情况影响, 夏季阳光充沛易于植物生长发挥有力的吸附降解作用, 但同时夏季的雨水在稀释水体污染物也易给水体带来外源污染物, 造成水体二次污染。

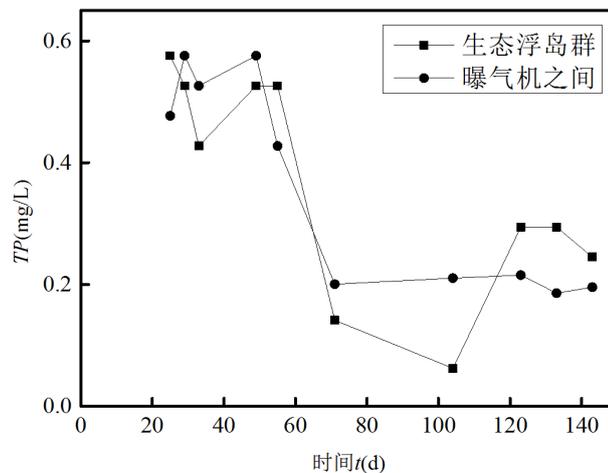


Figure 4. Variation of TP
图 4. 总磷浓度变化曲线

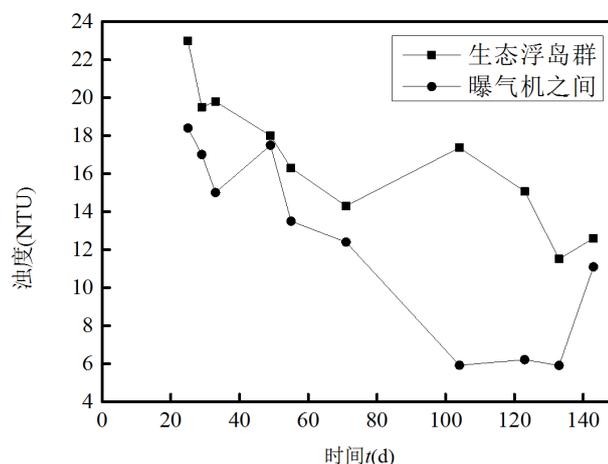


Figure 5. Variation of turbidity

图 5. 浊度变化曲线

(3) 温度对景观水体的表观污染有显著影响, 夏季的温度较高, 水体表观污染严重, 但经过处理措施污染程度变化速度快。

(4) 曝气和水生植物对浊度的去除效果并不显著, 而体现在对有机物和营养盐的降解转换作用下, 去除了增加水体色度和浑浊度的有机物和营养盐, 本身对于大颗粒悬浮物或腐殖质没有去除效果。

(5) 曝气 - 植物法修复相对封闭的景观水体是近期新兴的原位修复技术, 旨在不破坏原有的生态平衡条件下, 强化水体的自净能力和环境承载力, 方便操作, 投资较少, 容易广泛推广, 是一项很有前景的景观水处理技术。

基金项目

东北大学秦皇岛分校基金立项科技创新项目(cx16607)。

参考文献 (References)

- [1] Fraser, L.H., Carty, S.M. and Steer, D. (2004) A Test of Four Plant Species to Reduce Total Nitrogen and Total Phosphorus from Soil Leachate in Subsurface Wetland Microcosms. *Bioresource Technology*, **94**, 185-92.
- [2] Sooknah, R.D. and Wilkie, A.C. (2004) Nutrient Removal by Floating Aquatic Macrophytes Cultured in Anaerobically Digested Flushed Dairy Manure Wastewater. *Ecological Engineering*, **22**, 27-42.
- [3] 汤迪娟. 基于生态浮岛技术对衡阳西湖公园水体修复的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [4] 林建伟, 朱志良, 赵建夫. 曝气复氧对富营养化水体底泥氮磷释放的影响[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 812-815.
- [5] 包先明, 陈开宁, 范成新. 浮叶植物重建对富营养化湖泊氮磷营养水平的影响[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 807-811.
- [6] 袁文麒, 张维佳, 黄勇, 等. 人工水力循环改善园林不规则池塘水质的研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(3): 17-20.
- [7] 谢丹平, 江栋, 刘爱萍, 等. 小翠湖的生态修复工程研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(7): 17-21.
- [8] 刘勇. 不同生态浮床对景观水质的净化效果[J]. 南方农业学报, 2016, 47(6): 916-920.
- [9] 张亚娟, 王军霞, 刘存歧, 等. 美人蕉浮床对富营养水体氮·磷去除效果的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 6053-6054.
- [10] 李林锋, 年跃刚, 蒋高明. 植物吸收在人工湿地脱氮除磷中的贡献[J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 337-342.
- [11] 李亚新. 活性污泥法理论与技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 326-334.
- [12] 雒维国, 王世和, 黄娟, 等. 植物光合及蒸腾特性对湿地脱氮效果的影响[J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 30-33.

-
- [13] Wang, N. and Mitsch, W.J. (2000) A Detailed Ecosystem Model of Phosphorus Dynamics in Created Riparian Wetlands. *Ecological Modelling*, **126**, 101-130.
- [14] Freitas, A.C., Rodrigues, D., Rocha-Santos, T.A.P., *et al.* (2014) The Impact of Uranium Mine Contamination of Soils on Plant Litter Decomposition. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, **67**, 601-616.
<https://doi.org/10.1007/s00244-014-0035-5>
- [15] 王桢桢, 潘杨, 黄勇, 翟笑伟. 枯落物腐烂分解对封闭景观水体的影响[J]. 安全与环境学报, 2016, 3: 305-309.
- [16] 王桢桢, 潘杨, 翟笑伟. 封闭景观水体的表观污染机制研究[J]. 环境工程, 2015, 4: 9-13.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sd@hanspub.org