

江滩湿地水生植物对水体氮、磷污染物去除效果分析^{*}

周晓红¹,王国祥¹,郭长城²,曹 昀¹,葛绪广¹,杨文斌^{1,3},潘国权¹,马 婷¹

(1. 南京师范大学 地理科学学院,江苏省环境演变及生态建设重点实验室,南京 210046;

2. 南京水利科学研究院,南京 210029;3. 安徽师范大学 环境科学学院,安徽 芜湖 241000)

摘 要:在镇江内江边选择面积为 9 048 m² 的水面建立中试试验区,分别引种挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落,于 2006 年 8 月底引长江水进入实验区后对各植物群落进水与出水断面水体 TN、TP 浓度进行监测。结果表明:水体进入实验区时,TN 浓度平均值为 1.13 mg/L,输出时挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落出水断面浓度平均值分别为 0.67 mg/L、0.52 mg/L、0.43 mg/L,TN 截留率依次为 41%、21%、16%,不同植物群落对 TN 截留效果不同,其中挺水植物群落>浮叶植物群落>沉水植物群落。水生植物对水体 TP 去除效果显著,引长江水进入实验区时水体 TP 浓度平均值为 0.19 mg/L,输出时挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落出水断面 TP 浓度平均值分别为 0.13 mg/L、0.09 mg/L、0.06 mg/L,各植物群落对 TP 截留率分别为 31%、32%、31%。水生植物对水体 TN、TP 有明显去除效果,不同水生植物群落对防止水体富营养化起到积极作用。

关键词:水生植物;总氮;总磷;湿地

中图分类号:X52

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)04-0137-04

Effect of Aquatic Macrophytes in Tidal Wetlands on the Total Nitrogen and Total Phosphorus

ZHOU Xiao-hong¹,WANG Guo-xiang¹,GUO Chang-cheng²,
CAO Yun¹,GE Xu-guang¹,YANG Wen-bin^{1,3},PAN Guo-quan¹,MA Ting¹

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Jiangsu Key Laboratory of
Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing 210046, China;

2. Nanjing Hydraulic Science Research Institute, Nanjing 210029, China;

3. College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: The field experimental region which was 9 048 m² was built in the inner river of Zhengjiang on August in 2006 and different types of aquatic macrophytes containing emergent plant community, submerged plant community and floating plant community were introduced in order to monitor and research the effects of different types of aquatic macrophytes on removing the total nitrogen and the total phosphorus in water body. The result shows that total nitrogen content in the inflow side was 1.13 mg/L and in the different outflow side was 0.67 mg/L, 0.52 mg/L, 0.43 mg/L respectively. The removal efficiency was different in three aquatic macrophytes community and the order was the emergent plant community>floating plant community>submerged plant community. The total phosphorus of water body was influenced significantly by aquatic macrophytes. The total phosphorus content after running through the emergent plant community, floating plant community and submerged plant community was 0.13 mg/L, 0.09 mg/L, 0.06 mg/L respectively. In general, aquatic macrophytes could remove the total nitrogen and the total phosphorus obviously, and different plant communities have played a positive role in prevention of water eutrophication.

Key words: aquatic macrophytes; total nitrogen; total phosphorus; wetland

^{*} 收稿日期:2007-03-23

基金项目:国家 863 专项资助项目(2003AA601100-2)

作者简介:周晓红(1981-),女,陕西凤翔人,博士研究生,主要从事环境生态修复研究。

水环境问题已成为全球性环境问题。近几十年来,对湖泊水体、城市河道水体中 N、P 污染研究较多^[1~3],集中在 N、P 污染引起的水体富营养化、湖泊藻类暴发等方面。对于此类问题国内外环境工作者普遍认为:利用水生高等植物来净化较为理想,如王国祥^[4]提出对湖泊富营养化应根据系统论和生态系统理论的原理,在控制外源污染的同时,着眼于中性地恢复湖泊原有的以高等水生植物为主的生态系统,并维护其动态平衡;濮培民^[5]利用物理生态工程对水体富营养化的治理提供了一定的理论与科学依据。但这些研究主要针对湖泊水体,对于一些大江,如长江水体中 N、P 污染物的研究相对较少。长江水体中挟带的泥沙含量较高,这和城市河道及湖泊水体不同,因此本文结合镇江 863 城市水环境生态修复示范工程,研究江滩湿地水生植物群落对挟沙条件下水体氮磷的截留效果,力求揭示水生高等植物在挟沙水体条件下对污染物的截留,从而为修复整个内湖生态系统提供可靠的理论依据。

1 实验部分

1.1 实验区设置

在镇江内江边选择水面面积为 9 048 m² 的鱼塘作为中试试验区。该试验区位于内江北岸现存的防洪大堤外,污水处理厂码头西北角。根据不同水生植物对水位的要求,将试验区基底修复为多级梯田式结构,水深由 0.5 m 过渡到 3.0 m,实验区宽 52 m,其中挺水植物群落长 94 m,面积 4 888 m²,水深由 0.5 m 过渡到 1.0 m;浮叶植物群落长 20 m,面积 1 040 m²,水深由 1.0 m 过渡到 2.0 m;沉水植物群落长 60 m,面积 3 120 m²,平均水深 2.5 m,最低水位 2.0 m,最高水位 3.0 m。

1.2 水生高等植物的群落配置

利用水生高等植物多级串联系统,同时按照自然湖泊水体的群落配置,于 2005 年春夏季节在实验区分别引种挺水植物、浮叶植物和沉水植物。挺水植物区域主要引种芦苇 (*Phragmites australis*)、茭白 (*Zizania aquatica*)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、香蒲 (*Typha orientalis* Presl),浮叶植物区域引种菱 (*Vallisneria spiralis*)、水鳖 (*Hydrocharis dubia* Backer),沉水植物区域引种苦草 (*Vallisneria spiralis*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、轮叶狐尾藻 (*Myriophyllum verticillatum*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、茨藻 (*Najas marina*)。这些水生高等植物均为长江下游地区常见湿生、水生植物土著种。

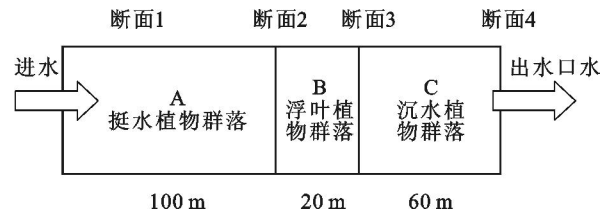


图 1 水生植物群落水平分布格局

1.3 监测点、项目及监测方法

在断面 1、断面 2、断面 3、断面 4(图 1)水平方向上各设置 4 个监测点,取其平均值作为每个断面最终监测数据。4 个断面依次对应初始进水断面、挺水植物出水断面、浮叶植物出水断面、沉水植物出水断面。

实验时间为 2006 年 8 月 25 日至 8 月 29 日,利用长江潮汐规律,每天调长江水(泥沙平均含量为 130.87 mg/L)进入试验区,试验持续 100 h,进水量 18 000 m³,平均水力负荷 0.477 5 m³/d,整个实验期间对水体 N、P 含量进行监测,监测时间为实验开始的第 0 h,6 h,24 h,30 h,48 h,54 h,78 h,100 h。

总氮、总磷的测定方法依据《水和废水监测分析方法》(第四版),采用荷兰 SKALAR 间隔流动水质分析仪。

2 结果与分析

2.1 水生植物对挟沙水体 TN 的截留效果

引长江水进入实验区时水体 TN 浓度平均值为 1.13 mg/L,输出时挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落出水断面 TN 浓度平均值分别为 0.67 mg/L,0.52 mg/L,0.43 mg/L,各植物群落对 TN 截留率分别为 41%,21%,16%,可知水生植物对水体 TN 截留效果显著,且不同植物群落对 TN 截留效果不同,实验证明挺水植物群落 > 浮叶植物群落 > 沉水植物群落(图 2)。

对实验区进水断面和各植物群落出水断面 TN 浓度进行监测(图 3),可知 4 个监测断面 TN 浓度呈现波动下降趋势。

进水断面(断面 1)在引水前 0 h,TN 浓度平均值为 0.65 mg/L,引水后,浓度急剧增加,6 h 后,浓度为 1.00 mg/L,比引水前增加 35%,24 h 后,进入实验区的 TN 浓度达到最大,平均值为 1.89 mg/L,比引水前增加 65%,随后 TN 浓度逐渐下降,至 30 h 时,浓度平均值为 1.02 mg/L。继续引水进实验区,TN 浓度又出现上升-下降过程,实验第 54 h,TN 浓度达到次最大值,平均值为 1.36 mg/L,100 h 时,进水断面 TN 浓度为 1.00 mg/L。

挺水植物出水断面(断面 2) TN 浓度随时间呈

波动下降趋势。引水前 0 h,出水断面 TN 浓度平均值为 0.51 mg/L,引水进入实验区后 TN 浓度逐渐增加,6 h 后,浓度为 0.61 mg/L,比引水前增加 17 %,24 h 后,浓度达最大值 1.10 mg/L,比引水前增加 54 %,随后 TN 浓度逐渐下降,至 48 h 后降低至 0.46 mg/L。继续引水进实验区,TN 含量又出现上升的趋势。在 54 h 时,浓度达 1.00 mg/L,实

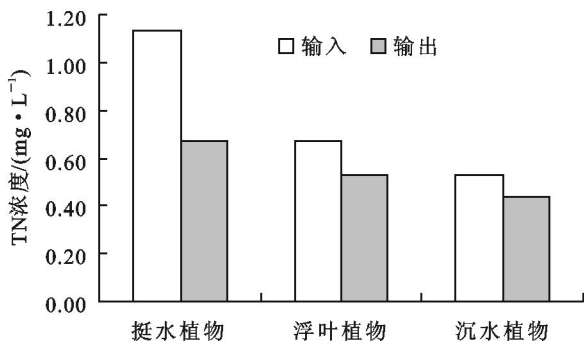


图 2 水生植物群落对 TN 的净化

经挺水植物群落后,水体 TN 浓度减少,故进入浮叶植物、沉水植物群落的 TN 浓度相对稳定且含量较低。浮叶植物、沉水植物群落出水断面(断面 3、4) TN 浓度随时间变化浮动小(图 3)。实验第 0 h 时,两个出水断面 TN 浓度平均值依次为 0.45 mg/L,0.40 mg/L,第 24 h 时浓度增加到 0.61 mg/L,0.49 mg/L,第 48 h,TN 浓度又降低至 0.40 mg/L,0.37 mg/L,实验第 100 h 后,TN 浓度变化为 0.40 mg/L,0.35 mg/L。

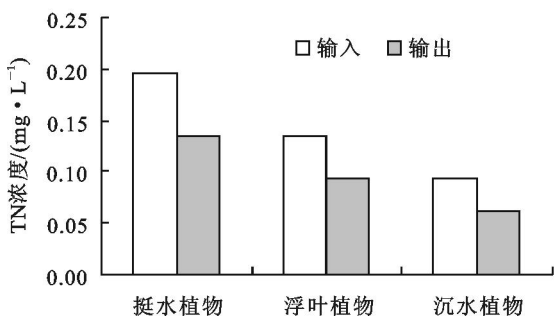


图 4 水生植物群落对水体 TP 的净化

对实验区进水断面和各植物群落出水断面 TP 浓度进行监测(图 5),可知 4 个监测断面 TP 浓度含量亦呈现波动下降趋势。

进水断面(断面 1)在引水前 0 h,TP 浓度平均值为 0.14 mg/L,引水后,浓度急剧增加,6 h 后,浓度为 0.19 mg/L,比引水前增加了 26 %,24 h 后,进入实验区的 TP 浓度达到最大,平均值为 0.46 mg/L,比引水前增加 70 %,随后 TP 浓度逐渐下降,

实验第 100 h 时,浓度降低至 0.47 mg/L,在整个实验过程中,TN 含量在挺水植物群落截留率高,一方面与实验区设置中挺水植物群落面积大有关。另一方面在于进入实验区的泥沙尤其是大颗粒悬浮物质被挺水植物截留过滤,而悬浮泥沙在沉降时能吸附部分 N、P 物质所致。

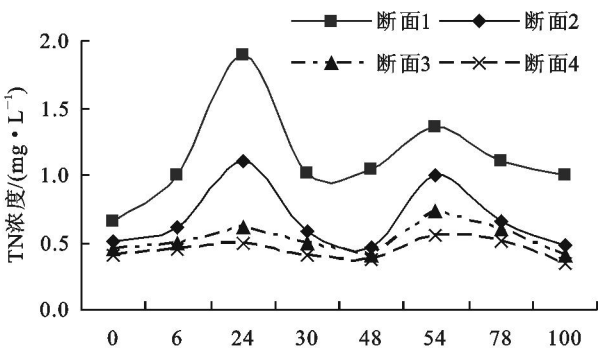


图 3 水生植物出水断面 TN 浓度随时间的变化

2.2 江滩湿地水生植物对挟沙水体 TP 的截留效果

引长江水进入实验区时水体 TP 浓度平均值为 0.19 mg/L,输出时挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落出水断面 TP 浓度平均值分别为 0.13 mg/L,0.09 mg/L,0.06 mg/L,各植物群落对 TP 截留分别为 31 %,32 %,31 %,可知水生植物对水体 TP 截留效果显著(图 4)。

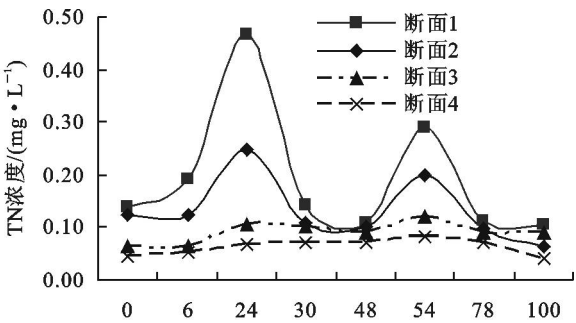


图 5 水生植物出水断面 TP 浓度随时间的变化

至 30 h 时,浓度平均值为 0.14 mg/L。继续引水进实验区,TP 浓度又出现上升 - 下降过程,实验第 54 h,TP 浓度达到次最大值,平均值为 0.29 mg/L,100 h 时,进水断面 TP 浓度为 0.11 mg/L。

挺水植物群落出水断面(断面 2) TP 浓度随时间呈波动下降趋势(图 5)。引水前 0 h,出水断面 TP 浓度平均值为 0.12 mg/L,引水进入实验区后 TP 浓度逐渐增加,6 h 后,浓度为 0.13 mg/L,比引

水前增加了 7%, 24 h 后, 浓度达最大为 0.25 mg/L, 比引水前增加了 50%, 随后 TP 浓度逐渐下降, 至 48 h 后降低到 0.10 mg/L。继续引水进实验区, TP 含量又出现上升的趋势。在 54 h 时, 浓度达 0.20 mg/L, 实验第 100 h 时, 浓度降低至 0.06 mg/L。

浮叶植物群落出水断面(断面 3) TP 浓度随时间变化浮动小(图 5)。实验第 0 h 时, 出水断面 TP 浓度平均值为 0.06 mg/L, 第 24 h 时浓度增加到 0.11 mg/L, 第 48 h, TP 浓度又降低至 0.09 mg/L, 随后又有所上升, 在第 54 h 时, TP 浓度为 0.12 mg/L, 实验第 100 h 后, TP 浓度则降低至 0.09 mg/L。

经挺水植物、浮叶植物群落后, 实验区水体中 TP 浓度降低, 且变化波动小, 故在沉水植物群落出水断面(断面 4) TP 浓度随时间变化浮动小(图 5)。实验第 0 h 时, 出水断面 TP 浓度平均值依次为 0.04 mg/L, 第 24 h 时浓度增加到 0.06 mg/L, 第 48 h, TP 浓度又为 0.07 mg/L, 随后有所上升, 在第 54 h 时, TP 浓度为 0.08 mg/L, 实验第 100 h 后, TP 浓度则降低至 0.04 mg/L。

3 结论与讨论

N、P 是植物生长的必需元素, 同时也是引起水体富营养化的主要因素之一, 尤其是 P 作为限制性因子, 其含量一旦过量, 则会引起水体恶化。英国环境署认为: TP 浓度达到 0.086 mg/L 时会产生水体富营养化现象, 而美国环境保护署(EPA, Environmental Protection Agency)将 TP 的浓度标准控制在 0.025 mg/L 以下。本次实验监测中, 发现长江水体中 TP 浓度达 0.19 mg/L, 远高于国外对 TP 的控制标准, 当温度适宜时, 在一些水流小的岸边带, 很有可能发生富营养化现象。由高等水生植物组成的江滩湿地对挟沙水体 TN、TP 有较好的净化效果, 尤其是在 7~10 月, 夏秋季节水生植物生长处于旺盛阶段, 对 N、P 的利用也是最有利的阶段。研究发现, 植物对 N、P 的净化主要有两方面途径: (1) 植物自身的吸收利用。植物生长过程中, 将水体中 N、P 物质吸收转化成生物相, 从水体中去除。(2) 高等水生植物对水体悬浮泥沙截留, 促使泥沙沉降, 在沉降过程中会吸附一部分 N、P 进入水土界面。研究表明^[6~11], 泥沙特别是

悬移质泥沙是污染物的主要携带者和主要影响因子, 悬移质泥沙的沉降是降低河水污染负荷的重要途径, 污染物被泥沙吸附以后随泥沙的沉降而进入水体底层, 脱离水相, 使得 N、P 等污染物成为非活动态, 因此其对水体自净具有重要的意义, 一定条件下, 泥沙可吸附近 80% 的 $P^{[9]}$ 。同时本次实验表明: 水体在水生植物群落停留时间愈长, 净化效果愈好。停留时间的延长一方面有利于植物体的吸收利用; 另一方面则有利于泥沙的沉降, 从而使得泥沙携带 N、P 至水土界面。由此可知, 由挺水植物、浮叶植物、沉水植物组成的湿地系统能有效的去除水体 N、P, 可以有效防治水体富营养化的发生, 故在湿地内湖生态系统修复时可以考虑采用此种组合。

参考文献:

- [1] 许朋柱, 秦伯强. 太湖湖滨带生态系统退化原因以及恢复与重建设想[J]. 水资源保护, 2002, (3): 31 - 36.
- [2] Van der Does J, et al. Lake restoration with and without dredging of phosphorous-enriched upper sediment layers[J]. Hydrobiologia, 1992, 233: 197 - 210.
- [3] Van Liere L, et al. Working group water quality research Loosdreht Lakes: its history, structure, research programme and some results[J]. Hydrobiologia, 1992, 233: 1 - 9.
- [4] 王国祥, 濮培民, 张圣照, 等. 用镶嵌组合植物群落控制湖泊饮用水源区藻类及氮污染[J]. 植物资源与环境, 1998, 7(2): 35 - 41.
- [5] 濮培民, 王国祥, 胡春华, 等. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗? [J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 269 - 279.
- [6] 郭长城, 王国祥, 喻国华. 利用水生植物净化水体中的悬浮泥沙[J]. 环境工程, 2006, 24(6): 31 - 33.
- [7] 张智, 王利利, 曾晓岚, 等. 泥沙沉降对长江水体富营养化相关因素的影响初探[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 457 - 460.
- [8] 周炜, 谢爱军, 年跃刚, 等. 人工湿地净化富营养化河水试验研究(1) - 植物对氮磷污染物的净化作用[J]. 净水技术, 2006, 25(3): 35 - 39.
- [9] 郭长城, 王国祥, 喻国华. 天然泥沙对富营养化水体中磷的吸附特性研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(9): 10 - 13.
- [10] 郭玲, 武海顺, 金志浩. 泥沙对天然水体中有机污染物净化的模拟研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2002, 16(4): 38 - 40.
- [11] 陈静生, 张宇, 于涛, 等. 泥沙对黄河水质参数 COD、高锰酸盐指数和 BOD₅ 的影响[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 369 - 375.