

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.03.010

新恢复湿地对近岸水域水质的净化效果研究

张春松¹, 杨华蕾¹, 由文辉¹, 何小燕², 屠佳雨³, 潘利平¹, 徐平¹,
陈雪初¹

(1. 华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241; 2. 上海
海洋管理事务中心, 上海 200050; 3. 上海市金山区海洋海塘管理所, 上海 200540)

摘要: 为了探究新恢复湿地对近岸水体的深度净化与水生态功能提升效果, 于 2017 年 8 月—2019 年 4 月对鸢鹼洲生态湿地各生态单元进出水水质进行监测, 并分析了湿地内各个组块对污染物去除的贡献。结果显示, 鸢鹼洲生态湿地对来水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的平均去除率分别为 49.2%、46.3% 和 52.9%, 对溶解性无机磷 (DIP) 和 TP 的平均去除率分别为 53% 和 55%, 对 SS 的平均去除率为 59.6%; 湿地不同区块的协同作用可以实现对多种污染物的有效去除, 有效提升了水体透明度, 深度净化了水质。

关键词: 新恢复湿地; 鸢鹼洲生态湿地; 近岸水域; 水质净化; 海岸带整治修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)03-0065-05

Purification Effect of Newly Restored Wetland on Water Quality of Coastal Water

ZHANG Chun-song¹, YANG Hua-lei¹, YOU Wen-hui¹, HE Xiao-yan², TU Jia-yu³,
PAN Li-ping¹, XU Ping¹, CHEN Xue-chu¹

(1. Shanghai Key Lab for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Shanghai Administration Center for Ocean Affairs, Shanghai 200050, China; 3. Shanghai Jinshan District Marine Seawall Management Office, Shanghai 200540, China)

Abstract: In order to explore the effect of newly restored wetland on advanced purification of coastal water and improvement of water ecological function, the influent and effluent quality of each ecological unit of Yingwuzhou wetland in Shanghai was monitored from August 2017 to April 2019, and the contribution of each block in the wetland to pollutants removal was analyzed. After treated by the Yingwuzhou wetland, the average removal rates of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), nitrite nitrogen ($\text{NO}_2^- - \text{N}$) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) were 49.2%, 46.3% and 52.9%, respectively, the average removal rates of dissolved inorganic phosphorus (DIP) and total phosphorus (TP) were 53% and 55%, respectively, and the average removal rate of suspended solids (SS) was 59.6%. Synergistic effect of different wetland areas could effectively remove different pollutants and improved the water transparency, which deeply purified the water quality.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0506002); 上海市海洋局科技项目(沪海科 2018-03)
通信作者: 陈雪初 E-mail: xcchen@des.ecnu.edu.cn

Key words: newly restored wetland; Yingwuzhou wetland; coastal water; water purification; coastal area remediation and restorations

以滨海湿地恢复为导向的海岸带生态整治修复正成为我国沿海城市生态环境保护工作的热点^[1]。然而,就新恢复的滨海湿地而言,虽然生态系统服务功能和生物多样性得到一定程度提升,但是对本地社会民生的直接支持作用往往较低。在华东师范大学科研团队技术支持下,上海市金山区于2016年底建成鸚鵡洲生态湿地,在恢复湿地生态系统、营造自然生态景观的同时,针对旁侧城市沙滩游泳区的水质改善需求,构建生态循环系统,发挥湿地水质净化功能,从而实现生态系统服务本地化^[2]。另一方面,海水浴场虽然大多本底水质条件较好,但由于各类水上活动易造成水质恶化^[3];其次大量的游客会对游泳区基底产生强烈的扰动作用,造成SS升高,水体透明度较差;再者,基底吸附的磷素被扰动后重新释放到水体中,和尿素一起在微生物的作用下转化为溶解性无机磷(DIP)和溶解性无机氮(DIN),可能会促进有害藻类增殖,危害游客的身体健康。然而,目前对海水浴场这类近岸低富营养化水体的自然净化方法的研究与实践还很缺乏,上海鸚鵡洲湿地的工程实践具有一定的创新意义。本研究以鸚鵡洲湿地为例,针对各净化单元的进出水水质开展长期监测,探讨新恢复湿地对金山城市沙滩游泳区海水的深度净化效能,旨在为同类海岸带生态整治修复工程和新恢复湿地的推广应用提供基础。

1 材料和方法

1.1 鸚鵡洲湿地概况

鸚鵡洲湿地位于杭州湾北岸河口区,毗邻上海金山区城市沙滩。生态湿地内水温全年变幅较大,8月最高温在29.79℃,1月最低温在6.12℃;盐度季节变化不明显,为0.8%~1%。恢复湿地总面积为232 000 m²,设计运行水量为6 000 m³/d,采用多级生态净化思路,设置生态前置库、苇草型表面流人工湿地、清水涵养塘和盐沼湿地4个水质净化区块。生态前置库面积为5 100 m²,平均水深为1.8 m,由盐生植物浮岛区和沉水植物恢复区组成,主要种植海蓬子和耐盐狐尾藻,设计水力停留时间为30.6 h;苇草型表面流人工湿地面积为9 000 m²,平均水深为0.1 m,设计水力停留时间为5.4 h,主要种植芦苇、香蒲等本土耐盐植物;清水涵养塘面积为9 050

m²,设计水力停留时间为66.4 h,主要种植狐尾藻等沉水植物,并添加浮床种植海蓬子等耐盐植物,深水区设置自然能造流系统,促进水体混合;盐沼湿地恢复区面积为25 000 m²,设计水力停留时间为5 d,主要种植芦苇、海三棱藨草和香蒲等本地盐沼植物^[2]。鸚鵡洲新恢复湿地各单元及水体流向示意图见图1。

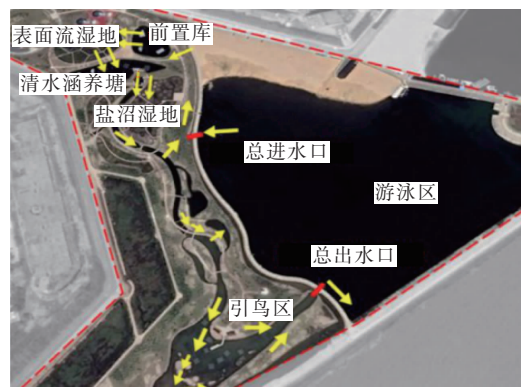


图1 鸚鵡洲新恢复湿地各单元及水体流向示意

Fig.1 Units of Yingwuzhou wetland and its water flow

1.2 样品采集与分析方法

2017年8月—2019年4月共对鸚鵡洲生态湿地进行了9次水质调查。采集湿地内进水口、前置库出水口、表面流湿地出水口、清水涵养塘出水口、盐沼湿地出水口和总出水口表层(10 cm)水样各2 L,装入由去离子水清洗过的聚乙烯采样瓶中,使用冰袋包裹冷藏带回实验室,根据《海水水质标准》(GB 3097—1977)于采样当天测定其DIN、DIP、TP和SS浓度。

1.3 进水质

金山城市沙滩水上休闲区的水体由水泵提升至湿地前段,并逐级流经湿地内部各个生态区,完成深度水质净化后再返回城市沙滩游泳区(如图1所示)。进水各指标受季节影响较大,其中DIN为0.06~0.2 mg/L,达到国家一类海水水质,夏季浓度最高,冬季最低;DIP和TP分别为0.018~0.041和0.026~0.050 mg/L,冬季浓度最高(仅为国家四类海水水质标准),夏季浓度最低(达到二类海水水质标准);SS为9.06~13.17 mg/L,为国家二类海水水质,夏季略高于其他季节。

2 结果与讨论

2.1 对氮的去除效果

鸚鵡洲湿地水体中氮元素的浓度及去除率(去除率=总进水口与总出水口的浓度差除以总进水口浓度,下同)变化如图2所示。其中,出水口 DIN 浓度均低于 0.1 mg/L,最低值可达 0.035 mg/L,优于国家一类海水水质标准。湿地在春季和夏季对 DIN 的去除率高于秋季和冬季,原因是春季和夏季植物生长对氮素的需求较大,新恢复湿地内部形成的植物-基质-微生物复合系统可以有效吸收水中溶解性无机氮,同时湿地基质表层部分区域具有缺氧条件,可以促进反硝化的发生^[4-8]。在秋冬季节,由于芦苇等湿地植物停止生长,同时进水口氮含量偏低,净化效果相对较弱。但从整体来看,鸚鵡洲新恢复湿地对 DIN 的平均去除率为 50%,最低也能达到 33%,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的平均去除率分别为 49.2%、46.3%、52.9%,运行情况稳定,对海滨浴场游泳区来水中的氮元素具有明显的去除作用。

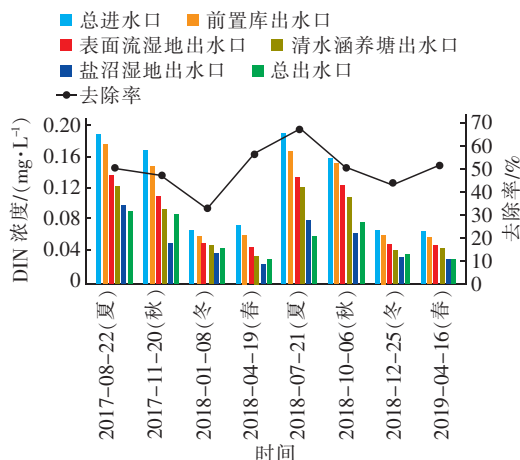


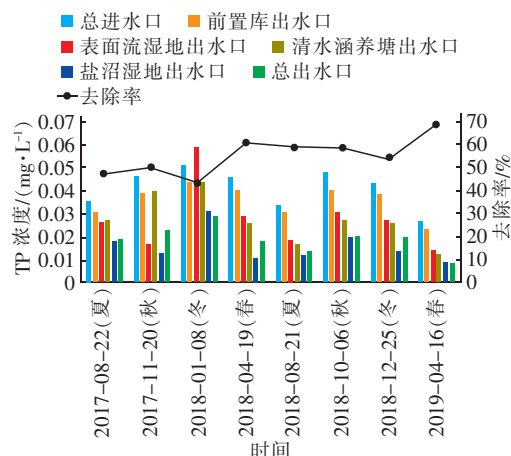
图2 DIN 浓度及去除率变化

Fig. 2 Change of DIN concentration and its removal rate

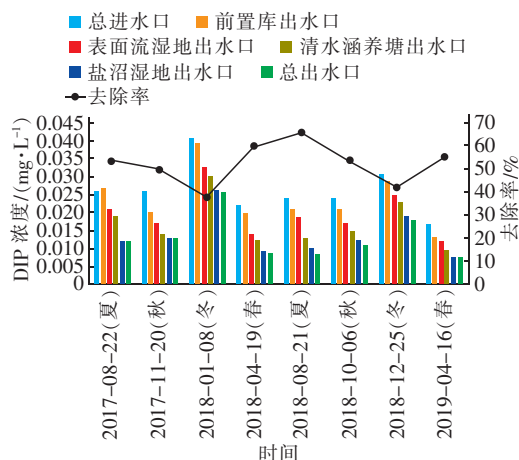
2.2 对磷的去除效果

鸚鵡洲湿地水体中磷元素的浓度及去除率变化如图3所示。湿地总出水口 DIP 和 TP 浓度的最低值分别为 0.007 和 0.009 mg/L,冬季达到国家二类海水水质标准,其他季节均达到国家一类海水水质标准,对磷素的去除效果显著。由于温度、微生物和植物生活史等因素的影响^[5],湿地对 DIP 和 TP 的去除率表现为冬季低于春季和夏季,平均去除率分别为 53% 和 55%。部分净化单元在进水口磷含量

偏低或者在冬季温度较低且植物枯萎的情况下,对 DIP 和 TP 的去除率会下降到 20% 以下^[9-10],DIP 和 TP 的浓度甚至会出现阶段性升高,但从整体来看,鸚鵡洲湿地对 DIP 和 TP 的最低去除率可保持在 40%,全年都能实现对磷素的有效去除。



a. TP 浓度及去除率



b. DIP 浓度及去除率

图3 DIP 和 TP 浓度及去除率变化

Fig. 3 Change of DIP and TP concentrations and their removal rates

2.3 对SS的去除效果

鸚鵡洲生态湿地夏季来水 SS 略高于其他季节,分析认为夏季城市沙滩游泳区游客众多,人为活动频繁导致水体波动较大,悬浮物难沉降,易扩散,使得夏季鸚鵡洲生态湿地的来水中 SS 浓度相对较高。生态湿地对 SS 的平均去除率为 59.6%,所有季节出水水质均达到国家一类海水水质标准,表明在来水 SS 浓度较低的情况下,鸚鵡洲生态湿地仍能有效降低 SS 浓度,增加水体透明度。

2.4 湿地不同区块对污染物去除的贡献

湿地不同区块对污染物去除的贡献如图4所示。可以看出,湿地不同区块对不同污染物的去除贡献差异较大,其中表面流湿地和盐沼湿地在去除DIN、DIP、TP方面发挥主导作用,去除贡献率分别为35%、30%、28%和31%、40%、36%,这是因为在表面流湿地和盐沼湿地中,微生物-基质-植物形成的复合系统可以有效利用来水中的氮、磷元素。前置库和清水涵养塘在去除SS方面发挥主导作用,去除贡献率分别为32%和35%。这是因为,前置库和清水涵养塘处于系统前端,且水力停留时间相对较长,加之前置库和清水涵养塘主要种植沉水植物,植物茎叶生长形成了较大的接触表面,对水体中的SS可以进行有效截留,并促进其沉降。

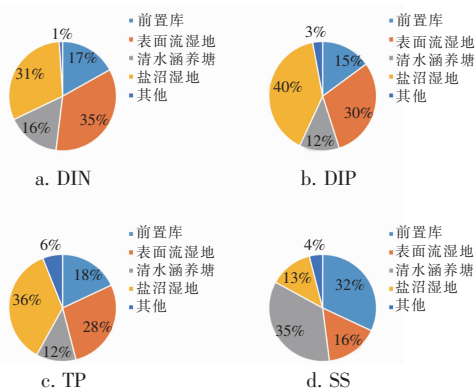


图4 湿地不同区块对污染物去除的贡献

Fig. 4 Contribution of different units of wetlands to pollutant removal

2.5 工程实践经验探讨

鸚鵡洲湿地虽然以恢复滨海湿地景观为首要目标,但是在具体落地之时,经过多方研讨,增加了为金山城市沙滩游泳区提供水质净化服务这一功能目标。为达成复合目标,在设计上采取了将具有生态净化功能的人工湿地与恢复盐沼湿地、引鸟水域相融合的技术思路,在恢复湿地的基础上充分发挥其水质净化功能,既为游泳区提供了优质水源,也为水生动物和鸟类提供了优越的栖息生境。

建成后运行2年多来,鸚鵡洲湿地已成为当地居民亲近自然的好去处,同时大批低危、近危鸟类到此处觅食歇脚,记录鸟类达38种,隶属于8目20科。另一方面,通过构建多级生态净化系统,针对氮、磷浓度较低,接近三类海水水质的来水,净化出

水DIP、DIN、SS可提升至一类海水水质,显示出近自然型恢复湿地在近岸水域水质深度净化方面具有较好的应用潜力。

3 结论

金山城市沙滩游泳区海水在鸚鵡洲新恢复湿地内经过生态沉淀、强化净化和清水涵养修复,各项污染物浓度显著降低,虽然去除能力呈现一定的季节变化,具体表现为春季和夏季优于秋季和冬季,但是总出水口流入游泳区的水体各项污染物浓度可达到国家一类海水水质标准。湿地内不同生态区块之间有机互补,共同实现对氮、磷和SS的有效去除,显示出鸚鵡洲湿地对游泳区低富营养化海水具有较好的深度净化效果,近自然型恢复湿地在近岸水域水质深度净化方面具有较好的应用潜力,可为类似工程实践和研究提供参考。

参考文献:

- [1] 安树青,张轩波,张海飞,等. 中国湿地保护恢复策略研究[J]. 湿地科学与管理,2019,15(2):41-44.
AN Shuqing, ZHANG Xuanbo, ZHANG Haifei, et al. A strategic study on wetland restoration and conservation in China[J]. Wetland Science & Management, 2019, 15(2):41-44 (in Chinese).
- [2] 陈雪初,戴雅奇,黄超杰,等. 上海鸚鵡洲湿地水质复合生态净化系统设计[J]. 中国给水排水,2017,33(20):66-70.
CHEN Xuechu, DAI Yaqi, HUANG Chaojie, et al. Design of compound ecological purification system for preserving water quality of Shanghai Yingwuzhou wetland[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(20):66-70 (in Chinese).
- [3] 刘世栋,高峻. 旅游活动对滨海浴场水环境影响研究[J]. 中国环境监测,2013,29(2):1-4.
LIU Shidong, GAO Jun. Study on the water environmental impact of tourism activities on the artificial beach to Hangzhou North Shore[J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 29(2):1-4 (in Chinese).
- [4] NGUYEN X C, CHANG S W, NGUYEN T L, et al. A hybrid constructed wetland for organic-material and nutrient removal from sewage: process performance and multi-kinetic models[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 222:378-384.

(下转第73页)