

三级串联湿地对氮磷的净化效果

徐进^{1,2}, 张奇², 徐力刚²

1. 南京工程学院环境工程系, 南京 江苏 211167; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所/湖泊与环境国家重点实验室, 南京 江苏 210008

摘要: 采用三级串联湿地, 对抚仙湖湖滨带的农业面源污染及部分县城生活污水进行了处理, 以防止湖泊的富营养化。对湿地各串联单元(即沉淀池、表流湿地单元和潜流湿地单元)的总氮和总磷浓度进行了试验分析, 来监测湿地对污染物的净化效果。研究表明, 除了表流湿地单元的平均脱氮率接近 40% 之外, 其他的净化单元去除营养盐的效率都只有 10%~20% 左右。相对而言, 沉淀池的 TP 去除率较好, 而表流湿地单元的 TN 去除率最高。湿地在运行两年之后, 其脱氮除磷的效果不是太佳。因此, 在利用湿地进行污水处理的同时, 要对其进行妥善管理, 如植物的收割、基质土壤的翻新等, 使其保持持续脱氮除磷能力。

关键词: 湿地; 基质; 氮; 磷

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 01-0079-04

湖滨带是湖泊水生生态系统与湖泊流域相邻陆地生态系统间一种十分重要的生态过渡带, 是湖泊的最后一道保护屏障^[1-2]。在湖滨带对污水进行拦截净化, 以及进行生态修复可有效减缓或抑制湖泊污染。因此, 针对面源污染比较集中的入湖河流, 在河滩、入湖河口湖滩等条件适宜地段, 根据现有地形特征, 因地制宜地构筑湿地, 实施生态工程建设; 并通过人工的方式, 合理布局、配水, 可有效控制河流廊道污染物输入量, 提高其对面源污染的控制能力。抚仙湖位于滇中玉溪市境内, 是我国目前已探明的第二深水湖泊。近年来随着经济的发展, 抚仙湖水质污染日益严重, 富营养化逐渐加重^[3]。马料河是抚仙湖北岸水量较大的入湖河流, 也是抚仙湖水质污染最为严重的第二条河流。针对马料河的污染问题, 我们在马料河入湖处建造了一个湖滨湿地, 来控制马料河对抚仙湖的污染。目前湿地一般分为自由表面流人工湿地、潜流型人工湿地(包括水平潜流湿地和垂直潜流湿地), 不同类型的人工湿地对特征污染物的去除效果不同^[4]。因此, 马料河湿地由三级串联的净化工艺单元组成, 依次为沉淀池、水平潜流湿地和多级表流湿地, 以更有效去除污染物。目前, 国内外对人工湿地的研究较多, 其中大部分研究是基于在较小时空尺度上进行的, 而对实地工程的研究比较少。本文以马料河三级串联湿地实际工程为例, 研究对污水氮磷营养盐的净化效果, 为更好地进行人工湿地工程的推广及应用提供一定的科学依据。

1 材料与方法

基金项目: 中国科学院“百人计划”; 国家自然科学基金(40701176); 湖泊与环境国家重点实验室开发基金; 南京工程学院引进人才科研启动基金(KXJ08020) 联合资助

作者简介: 徐进(1979年生), 女, 博士, 研究方向为水污染控制。E-mail: xujin100408@163.com

收稿日期: 2008-10-05

1.1 湿地的构建与运行

马料河三级串联湿地位于云南抚仙湖北岸的湖滩地上, 占地面积约 2 hm²。该湿地处理系统收集了抚仙湖入湖河道马料河集水域内的农田径流污水和澄江县城部分生活污水, 2003年6月建成并投入使用, 年均入湖水量 890 万 t, 其中 60% 左右的水量集中在雨季 6—9 月份。该湿地的 3 个工艺单元, 沉淀池、水平潜流湿地和多级表流湿地, 各自面积分别为 3 000 m², 16 600 m², 108 000 m², 见图 1。其中, 水平潜流湿地种的植物有香蒲、伞竹、美人蕉和苍蒲, 床体填充的基质是粒径为 50~100 mm 的鹅卵石, 厚度为 1 m。表流湿地均种有水芹菜。

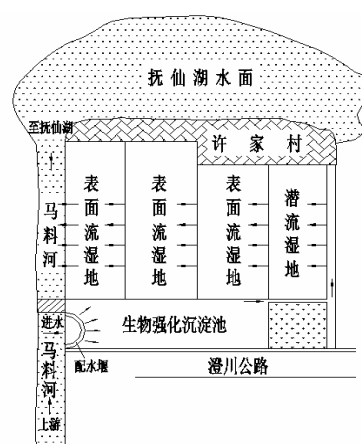


图 1 马料河三级串联湿地平面示意

Fig. 1 The schematic plan of three level series wetlands of River Maliao

1.2 样品采集

研究时间是从 2005 年 6 月到 10 月, 试验期间每天 7:00—9:00 取样测试。沿水流方向设置 4 个采样点, 分别是湿地总进水口、沉淀池出口、潜流湿地出口、表流湿地出口。

1.3 水质指标及分析方法

主要测定指标包括总氮 (TN)、总磷 (TP)。具体测定方法如下^[5]: TP 采用过硫酸钾消解, 钼锑抗比色法; TN 采用碱性过硫酸钾消解, 紫外分光光度法。

2 结果与分析

2.1 三级串连湿地系统对总氮的净化效果

氮在湿地系统中的循环转化, 是一个复杂的生物化学变化过程。氮的去除主要是微生物的硝化、反硝化作用和植物的吸收^[6]。而植物吸收的氮很少, 主要是微生物的硝化、反硝化作用^[7]。系统对氮的去除效果见图 2。由图中可看出, 沉淀池去除总氮的效果不是十分理想, 其去除率最高为 44.26%, 最低才 0.89%, 其平均去除率为 18.94%。微生物的硝化过程中需要硝化菌群的存在以及必要的好氧环境。沉淀池中不存在植物的根际传输, 只有大气的表面富氧。在试验期间, 沉淀池水面都覆盖着浮萍, 大气的表面富氧很少, 甚至几乎不存在, 从而导致硝化过程难以进行, 故沉淀池的氮去除率过低。表流湿地单元对总氮的平均去除率为 37.5%, 对氮的去除达到一般湿地的处理效果 (30% 左右)。潜流湿地单元对总氮的平均去除率为 12.03%。究其原因, 污水流入湿地, 先进入沉淀池, 去除大部分颗粒态磷, 而后进入潜流湿地单元, 一部分氮素被植物吸收。试验期间, 植物收割过两次, 故通过人工收割而去除部分氮素; 而潜流湿地单元基质的吸附作用很小, 湿地经过近两年的运行, 吸附几乎达到饱和; 另一部分是基质中微生物的硝化反硝化

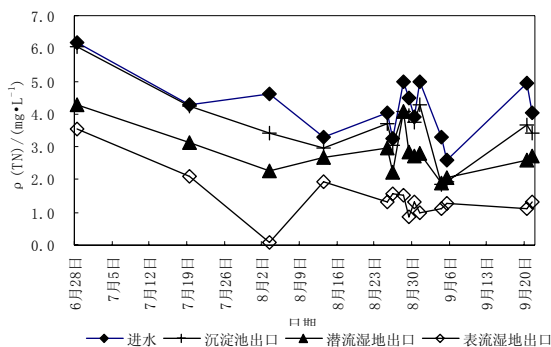


图 2 马料河三级串连湿地总氮的质量浓度变化
Fig. 2 The concentration change of total nitrogen of three level series wetlands of River Maliao

作用去除少量的氮素, 试验期是云南的丰水季节, 大量的雨水使潜流湿地单元大部分时段处于淹水状态。雨水带入充足的氧气进入基质, 为微生物的好氧硝化提供了良好的环境; 而湿地中污水的水力停留时间只有 24 h, 在潜流湿地单元微生物还未充分进行反硝化时, 污水就进入多级表流湿地单元, 在此单元完成反硝化过程。因此, 潜流湿地单元对氮素的去除效果不明显, 而多级表流湿地单元去除效果较好。

2.2 三级串连湿地系统对磷的净化效果

人工湿地对磷的去除是由植物吸收、物理化学作用而完成的。同氮一样, 废水中的无机磷在植物吸收及同化作用下, 可变成植物的有机营养成分, 通过植物的收割而得以去除。物理化学作用对磷的去除, 主要是通过吸附、沉淀、络合等途径来实现。

图 3 为 2005 年 6 月至 9 月底各湿地单元 TP 浓度监测值。由图可知, 潜流湿地单元在 6 月份到 7 月中旬, 进、出水浓度基本相同, 即湿地系统既不纳磷也不释磷, 湿地仅仅只是水流的“通道”; 到了 8-9 月份, 出水浓度大部分都高于进水浓度, 甚至超出很多, 此时湿地系统开始释磷, 丧失了作为污水处理系统的功能。并且进水 TP 浓度都不太高, 各工艺单元的除磷效果均不佳, 尤其是在 9 月 4、5 日, 潜流湿地和表流湿地的去除率出现负值, 出水 TP 浓度大于进水浓度。此说明, 潜流湿地和表流湿地在条件具备的情况下, 都存在一定的内源释放, 即湿地纳磷量已经饱和, 湿地此时已经失去污水处理的功能^[8]。

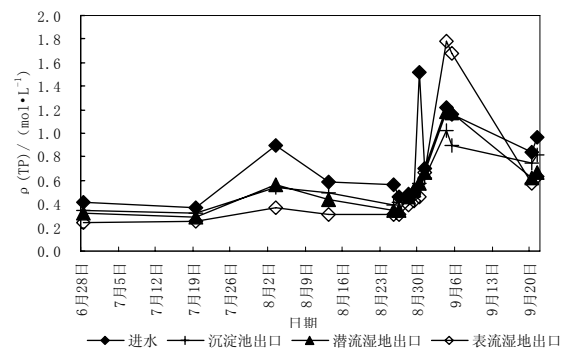


图 3 马料河三级串连湿地总磷的质量浓度变化
Fig. 3 The concentration change of total phosphorus of three level series wetlands wetlands of River Maliao

2.3 三级串连湿地各单元对氮磷的平均去除率

由图 4 可以明显看出, 表流湿地相对而言其 TN 去除率最高, 而 TP 去除率最低; 沉淀池去除 TN 效果最差, 而 TP 去除效果最好。进水中部分是农田污水和生活污水, 存在部分颗粒性磷, 污水经过

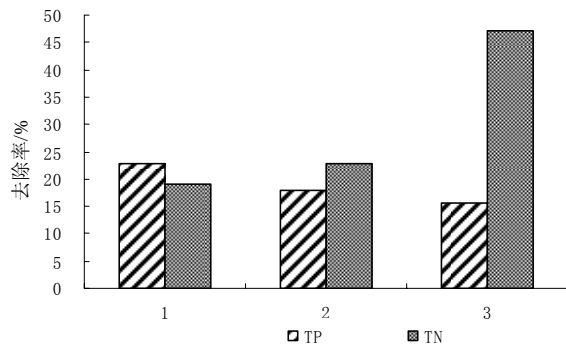


图4 马料河三级串联湿地对总氮和总磷的平均去除率

Fig. 4 The average removal efficiency of total nitrogen and total phosphorus of three level series wetlands of River Maliao

注：1—潜流湿地单元；2—潜流湿地单元；3—表流湿地单元。

沉淀池，颗粒性磷大部分沉降，故沉淀池的 TP 去除率较好。但是在试验期间，整个沉淀池覆盖着密实的浮萍，形成厌氧环境，硝化过程被抑制，脱氮效果较差。表流湿地由于运行过久没有翻新，造成土壤中磷贮存饱和，开始向湿地水-土界面释磷，故表流湿地磷去除率很低。

3 结论

许多研究表明，湿地系统对氮、磷的去除有很好的效率。但是，湿地的这项功能在一定情况下会减弱甚至丧失。由上面的实验数据可以看出，马料河湿地在运行两年之后，其脱氮除磷的效果不是太佳。除了表流湿地的平均脱氮率接近 40% 之外，其他的功能单元去除营养盐的效率都只有 10% ~ 20% 左右。湿地脱氮，主要控制其好氧厌氧环境，使得微生物的硝化反硝化过程顺利进行。除此之外，还要进行植物的定期收割。尤其在磷去除方面，无论是表流湿地还是潜流湿地，都要进行一定的管理，例如进行湿地的翻新，或采取一些物理化学措施，使得湿地的土壤更新其吸附能力；否则湿地在经过初期的高效率运行后，土壤中的磷达到吸附平衡，此时污水进来的磷低于土壤中磷的平衡浓度，就存在磷释放问题，这时湿地就丧失了除磷的功能。不仅如此，我们要进一步研究湿地脱氮除磷的

最佳工况，来达到最大去除能力。因此下一步工作，如在除磷方面，我们研究湿地土壤吸附解吸的临界点浓度，从而解决湿地中土壤磷的内源释放问题。

参考文献：

- [1] 杨红军, 祝松鹤, 申哲民, 等. 湖滨带生态恢复与重建的理论与技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 819-824.
Yang Hongjun, Zhu Songhe, Shen Zhemin, et al. Theories and technologies on restoration and reconstruction for ecological zone of lake-side[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(suppliment): 819-824.
- [2] Hillbricht-Ilkowska A, Rybak J, Rzepecki M. Ecohydrological research of lake-watershed relations in diversified landscape (Masurian Lakeland, Poland)[J]. Ecological Engineering, 2000, 16: 91-98.
- [3] 李荫玺, 刘红, 陆娅, 等. 抚仙湖富营养化初探[J]. 湖泊科学, 2003, 15(3): 285-288.
Li Yinxi, Liu Hong, Lu Ya, et al. Preliminary studies on eutrophication in Fuxian Lake[J]. Journal of Lake Science, 2003, 15(3): 285-288.
- [4] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51-59.
Xia Hanping. Mechanisms and efficiencies on wastewater treatment with constructed wetlands: a review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(4): 51-59.
- [5] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 243-248.
National Environmental Protection Bureau. Methods for the Examination of Water and Waste Water[M]. 4th edition. Beijing: China Environmental Science Press, 1989: 243-248.
- [6] 张甲耀, 夏盛林, 邱克明, 等. 潜流型人工湿地污水处理系统氮去除及氮转化细菌的研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 323-327.
Zhang Jiayao, Xia Shenglin, Qiu Keming, et al. Nitrogen removal by a subsurface flow constructed wetlands wastewater treatment system and nitrogen transformation bacteria[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(3): 323-327.
- [7] Comin F A, Romero J A, Astorga V, et al. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff [J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 255-261.
- [8] Pant H K, Reddy K R. Potential internal loading of phosphorus in a wetland constructed in agriculture land[J]. Water Resource, 2003, 37: 965-97.

Purification efficiency of nitrogen and phosphorus pollutions by three level series wetlands

Xu Jin^{1,2}, Zhang Qi², Xu Ligang²

1. Depment of Environmental Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment//Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science,
Nanjing 210008, China

Abstract: Agricultural non-point source pollution and part of domestic sewage of country towns are treated by three level series wetlands in order to prevent lake eutrophication. Experimental analysis of the concentration of total nitrogen and total phosphorus of three level series wetlands, which is sedimentation tank, surface-flow wetland unit and sub-flow wetland cell, is carried out to investigate the removing effect of wetlands on pollutants. The result shows that the average nitrogen removal efficiency of surface-flow wetland unit closes to 40%. However, the other purification units are about only 10%~20%. Comparatively speaking, the total phosphorus removal efficiency of sedimentation tank and the total nitrogen removal efficiency of surface-flow wetland unit are the best of these three units. After two years' operation, the nitrogen and phosphorus removal efficiency of wetland units is not so high as before. Therefore, effective management measures, such as plant harvesting, soil renewing, are necessary for the sustainable capacity of nitrogen and phosphorus removal during that the wetlands is used for wastewater treatment significantly.

Key words: wetland; sediment; nitrogen; phosphorus