

中水湿地去氮效果研究

孙秀敏¹, 王 琳¹, 甘 泓¹, 邵福建²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 山东省平阴县污水处理厂, 山东 平阴 250400)

摘要 :以山东省平阴中水湿地为研究对象,通过对湿地水体、底泥的氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)沿程变化的分析,研究湿地对中水中氮(N)的去除效果。结果表明:湿地对水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较好,而作为水体中N主要存在形式的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 沿水流方向却呈增加趋势,微生物硝化作用强烈。底泥中总氮(TN)沿水流方向也呈增加趋势,累计效应比较明显。研究结果为湿地设计的进一步改进提供理论支持。

关键词 :人工湿地;中水;水样;底泥;去氮效果

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2010)02-00010-03

Removal of nitrogen in reclaimed water by constructed wetland

SUN Xiu-min¹, WANG Lin¹, GAN Hong¹, SHAO Fu-jian²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Pingyin Sewage Treatment Plant of Shandong Province, Pingyin 250400, China)

Abstract :The Pingyin constructed wetland of Shandong Province was selected for study of removal efficiency of nitrogen in reclaimed water through analysis of the changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents along the flow direction both in wetland water and sediments. The results showed that the removal of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in wetland water was significant; however, as the main existing form of nitrogen in wastewater, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ increased along the flow direction, and the microbial nitrification was strong. Total nitrogen(TN) in sediments also tended to increase and accumulate. The results from this study could provide theoretical support for further improvement of the constructed wetland design.

Key words :constructed wetland; reclaimed water; water sample; sediment; nitrogen removal efficiency

南水北调东线工程输水渠道的 90% 是利用现有的河道湖泊,为满足受水区用水要求,输水干线及其支流的水体水质必须达到 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准。而这些作为输水渠道的河道湖泊,水环境现状较差,特别是里运河及南四湖至东平湖区间和小清河的水质现状极差,几乎全部为劣Ⅴ类,这必然影响到输水水质安全,影响工程效益的发挥,因此治污是东线工程成败的关键。在改善干线本身水环境的同时,也要防止沿线城市的生活、工业污水进入调水干线,影响调水水质。这就需要建设截污导流工程对污水进行截、蓄、导、用,以期实现污水就地资源化利用,用作城市环境、绿化和

城市居民冲洗用水等。相对于投资较大的截污导流工程而言,人工湿地作为一种高效、低耗的污水处理新工艺已得到广泛应用^[1-3]。它利用基质-微生物-植物复合生态系统的物理、化学和生物的三重协调作用,通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收和微生物分解来实现对废水的高效净化^[4],尤其是对 N、P 的去除效果明显。N、P 作为造成水体富营养化的主要营养物质,如果在水中大量积累,会使藻类大量繁殖,导致水质恶化。因此降低 N、P 浓度一直是污水处理、水环境治理的重点。笔者选择距济平干渠较近的平阴中水湿地为研究对象,通过分析湿地对中水中 N 的去除效果,研究人工湿地在东线治污

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAB04A15);国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2006CB403408);国家自然科学基金创新研究群体基金(50721006)

作者简介:孙秀敏(1985—),女,河北故城人,硕士研究生,研究方向为水资源规划、配置与管理。E-mail:xiumin_sun@126.com

中的实际功效,并为人工湿地的进一步改善和运行管理提供理论依据,以期为人工湿地在整个东线工程沿线的推广起到示范作用。

一般说来,湿地系统的脱 N 过程主要包括:有机基质对 N 的吸附;阳离子交换作用和固 N 作用;作物的吸收及因其收获而去除; NH_3 的挥发而逸入大气;被微生物代谢而形成生物物质的一部分;化学的、生物的硝化反硝化;随净化水流出;渗入地下水^[5]。有研究表明,微生物的硝化反硝化作用和植物吸收是人工湿地脱 N 的主要途径^[6]。一般情况下,污水中有机氮被微生物分解成 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为营养成分被植物分解吸收合成蛋白质等,通过收割植物,有机氮和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 从污水和湿地中去除^[7]。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 则通过反硝化菌的反硝化作用被还原为 N_2 或 N_2O 从系统中逸出。另外, $\text{NH}_3\text{-N}$ 也可经硝化反应转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,但这个过程只改变了 N 的存在形式,反硝化作用才能实现 N 从系统的去除。

1 平阴中水湿地概况

实验地平阴县是山东省济南市的郊县,地处南水北调东线工程黄河以南段,是山东省环境保护工作的关键地区,影响着省城济南居民的饮用水质量。县污水处理厂位于南水北调胶东输水干线与入黄中水输送工程的交汇处,设计规模为日处理污水 4 万 t,于 2005 年 7 月开始运行,平均日处理污水 2 万 t,处理率在 95% 以上,出水执行国标一级 B 标准。2007 年,为进一步治理城市水环境,污水处理厂对其西侧原有的多个鱼塘(共 33.3 hm^2)进行改造,经排水清淤后串联打通建立了水力联系,并引入芦苇、蒲草等水生植物,建成平均水深 1.5 m 的表面流中水人工湿地(图 1),对污水处理厂的出水进行进一步净化处理。通过项目实施,平阴县污水处理将确保由原设计排放一级 B 标准提高到一级 A 标准,污染物年削减量按设计规模预计,重点污染物 COD 可削减 1 300 t/a,增加削减量 150 t/a。

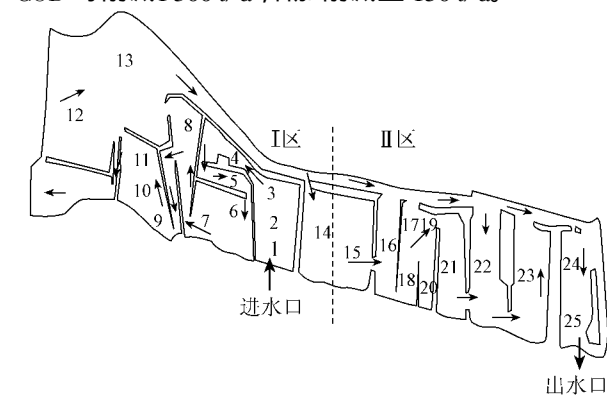


图 1 采样点分布示意图

2 样品采集

平阴中水湿地采取 S 形绕流和回流设计,如图 1 中箭头所示,尽可能增加水体流程,延长水体在区内停留时间,达到较好的污染物去除效果。2008 年 3 月在湿地中沿水流方向选取 25 个采样点(图 1)。其中 1~14 点在 I 区,15~25 点在 II 区,处理后的污水先流经 I 区再经过 II 区,II 区水质理论上要比 I 区好。另外,在距中水湿地 1 km 处未受污染的水域选择一个 26 号采样点作为对照。在 26 个采样点各取一个水样,在 2~12、14、16、18、20、21、23、24 点采集新鲜底泥样品,置于保鲜袋中,密封包扎后带回实验室备用。

湿地污水中的 N 主要以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 包括 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 在内两种形式存在,此次主要测定样品的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度。测定方法采用比色法,在连续流动分析仪上进行测定。

3 结果与讨论

3.1 水样结果分析

3.1.1 $\text{NO}_3^-\text{-N}$

为去除实验过程中所用的水和 KCl 溶液对结果的影响,增加了水、KCl 两个空白样,测定结果表明:两个空白样的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度分别为 0.36 mg/L 和 0.4 mg/L。采样点的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度应为实测质量浓度减掉空白样质量浓度值。对照点 26 点的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度为 7.96 mg/L。由结果可见,湿地中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度比正常水域高出很多。图 2 给出了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度沿水流的变化趋势,在 1 点和 14 点之间,也就是 I 区内, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度略有波动,但总体没有大的变化。而 II 区内 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度增长很快,从 15 点的 23.76 mg/L 增加到 25 点的 35.32 mg/L,增长率为 48.7%。

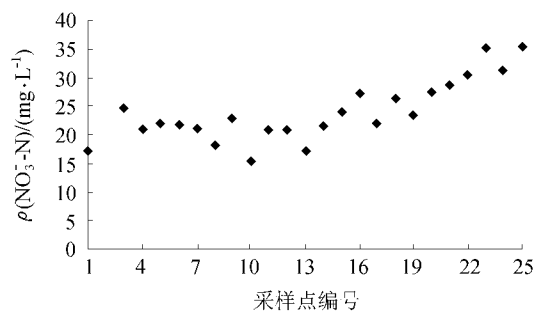


图 2 水体 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随水流变化情况

温度、pH 值、溶解氧(DO)是影响湿地去污效果的三个主要因素,温度和 pH 值随水流的变化不大,但是 DO 变化较大,如图 3 所示。DO 随水流不断升

高与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 变化一致。Ⅱ区湿地 DO 质量浓度高,好氧微生物进行好氧过程,硝化作用强烈, $\text{NH}_3\text{-N}$ 在好氧情况下经硝化细菌氧化,转变为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ [8-9]。硝化作用只改变了 N 的存在形式,对 N 的去除是不完全的。建议对该区采取措施,使反硝化细菌有适宜的厌氧缺氧环境和充足的有机物来源,以加强反硝化作用,将 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 还原为 N_2 或 N_2O ,从而真正降低 TN 质量浓度。

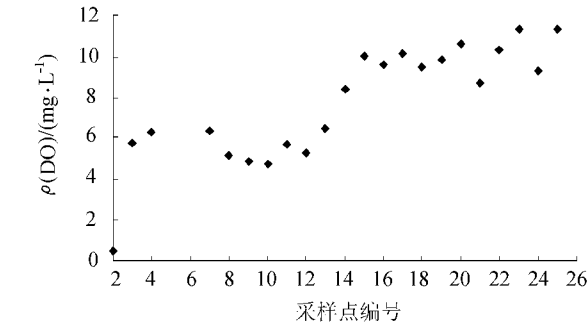


图3 湿地水体中 DO 的沿程变化规律

3.1.2 NH₃-N

和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的测定过程相同,增加的水、KCl 两个空白样的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度均为 0.76 mg/L。根据 GB18918—2002《污水处理厂污染物排放标准》的规定,出水执行一级 A 标准, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度应不大于 5 mg/L,湿地各采样点均满足这一水质标准, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度进口为 1.24 mg/L,出口为 0.64 mg/L,去除率为 48.4%,湿地系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果比较明显。水流沿程各点的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化情况如图 4 所示,污水进入湿地的前一段,即 9 点之前, $\text{NH}_3\text{-N}$ 持续增加,主要是因为水中有机氮化合物被微生物的氨化作用分解产生了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。之后随微生物硝化作用等不断加强, $\text{NH}_3\text{-N}$ 不断转化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果虽然很好,但其质量浓度跟 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的相比小很多,无机氮总质量浓度还是出口大于进口,以致不能满足 TN 排放标准 [10] 因此水体 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 去除是湿地下一步改进的主要目标。

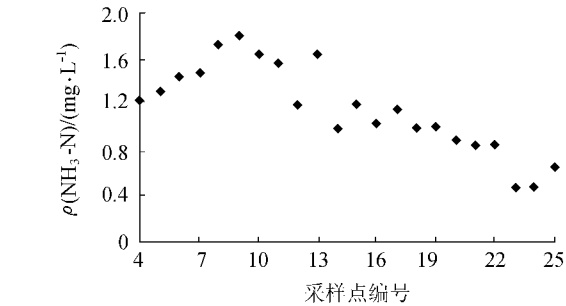


图4 水体 NH₃-N 随水流变化情况

3.2 底泥结果分析

底泥样品 N 质量浓度测定与水样测定稍有不同,首先要从固体中提取 N,再根据测得的底泥含水量反推称取新鲜底泥样的干重,最后算得单位干重的 N 质量浓度。图 5、图 6 给出了底泥中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 沿水流的变化趋势。跟水样中 N 的分布规律恰恰相反,水样中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度约为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度的 20 倍左右,而底泥中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量比约为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量比的 10 倍左右。说明水和底泥中 N 的主要存在形式是不同的,水中以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为主,底泥中以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为主。就变化规律而言, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 总体上是不断减少的,从进口口的 0.011 67 mg/g 减少到出水口的 0.003 27 mg/g,去除率约为 72%,主要的去除过程可能是反硝化作用。底泥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 大致呈增加趋势,这与底泥有机质对水中 N 的吸附沉淀作用有一定的关系, TN 随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的增加而增加,在底泥中的累积效应比较明显。

同,首先要从固体中提取 N,再根据测得的底泥含水量反推称取新鲜底泥样的干重,最后算得单位干重的 N 质量浓度。图 5、图 6 给出了底泥中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 沿水流的变化趋势。跟水样中 N 的分布规律恰恰相反,水样中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度约为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度的 20 倍左右,而底泥中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量比约为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量比的 10 倍左右。说明水和底泥中 N 的主要存在形式是不同的,水中以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为主,底泥中以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为主。就变化规律而言, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 总体上是不断减少的,从进口口的 0.011 67 mg/g 减少到出水口的 0.003 27 mg/g,去除率约为 72%,主要的去除过程可能是反硝化作用。底泥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 大致呈增加趋势,这与底泥有机质对水中 N 的吸附沉淀作用有一定的关系, TN 随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的增加而增加,在底泥中的累积效应比较明显。

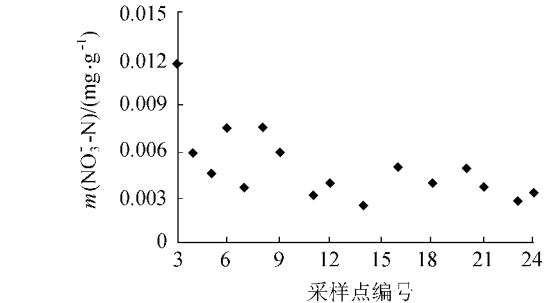


图5 底泥 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 随水流变化情况

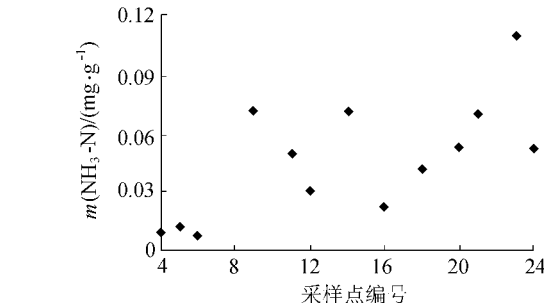


图6 底泥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 随水流变化情况

4 结 论

a. 湿地对水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较好,去除率为 48.4%。但水体中 N 主要以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的形式存在,且在Ⅱ区, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度沿水流方向增加,导致 TN 质量浓度超过排放标准,建议营造水体更利于厌氧细菌生存的厌氧环境,加强反硝化作用,增强湿地对 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的去除效果。

b. 底泥中 N 主要以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的形式存在, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度沿水流方向增加,导致 TN 在底泥中累计效应比较明显,建议定期清理更换底泥,增强去 N 效果。

(下转第 31 页)

动的。笔者采用了马尔可夫模型分析方法,有效地预见和修正了由于系统的随机性产生的预测不确定性误差,得到了更准确的预测结果,具有较强的科学性。该方法不仅预测精度高,而且简便实用,可操作性强。此外,笔者构建的改进型 BP 神经网络,经实例验证该方法可行。

参考文献：

[1] 刘俊良,刘兴坡,张树军,等. BP 神经网络在城市需水量预测中的应用[J]. 河北建筑工程学院学报, 2001, 19(2): 1-3.

[2] 杨维,王恩德,陈畅. 应用 BP 神经网络预测城市需水量的探析[J]. 资源调查与环境, 2003, 24(3): 217-221.

[3] 张雪飞,郭秀锐,程水源,等. BP 神经网络法预测唐山市需水量[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(5): 95-98.

[4] 曹邦兴. LM 算法在地下水动态预测中的应用研究[J]. 广西水利水电, 2007(3): 4-5.

[5] 罗强,任庆利,罗莉. 应用 BP 神经网络研究水滑石/聚合

物纳米复合材料的制备工艺[J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36(2): 283-285.

[6] 刘克. 实用马尔可夫决策过程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[7] 陈继光,祝令德. 基于神经网络的马尔可夫预测模型[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(6): 225-226.

[8] 杨励雅,邵春福. 基于 BP 神经网络与马尔可夫链的城市轨道交通周边房地产价格的组合预测方法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38(3): 514-519.

[9] 王义民,于兴杰,畅建霞,等. 基于 BP 神经网络马尔科夫模型的径流量预测[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2008, 41(5): 14-17.

[10] 吕佳良,张振刚. 基于灰色关联指标筛选的 BP 神经网络中长期电力负荷滚动预测马尔可夫残差修正模型研究[J]. 华东电力, 2008, 36(9): 10-13.

[11] 翟春年. 开发区给水规划中需水量预测的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

(收稿日期: 2009-05-20 编辑: 徐娟)

(上接第 12 页)

c. 总体而言,平阴湿地是由鱼塘改建而成的,采用天然基质,没有特别的强化脱 N 设计,使得去 N 效果并不理想。湿地的设计和运行维护还需要进一步改进,如引入去污效果较好的水生植物,定期更换底泥等。

参考文献：

[1] 应俊辉. 利用人工湿地处理农村生活污水的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1104-1105.

[2] 刘衍君. 人工湿地在污水处理中的应用及其展望[J]. 中山大学研究生学刊: 自然科学、医学版, 2003, 24(2): 34-39.

[3] 张晟,黎莉莉,陈建,等. 人工湿地在处理小城镇生活污

水中的应用[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(9): 62-65.

[4] 彭超英,朱国洪,尹国,等. 人工湿地处理污水的研究[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(6): 43-45.

[5] 罗固源. 水污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 404.

[6] 张军,周琪,何蓉. 表面流人工湿地中氮磷的去除机理[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 98-101.

[7] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学, 1994, 16(3): 83-86.

[8] 吴振斌,成水平,贺锋,等. 垂直流人工湿地的设计及净化功能初探[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 715-718.

[9] 李霞. 微生物在氮循环中的作用[J]. 松辽学刊: 自然科学版, 1998(4): 30-31, 36.

[10] GB18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].

(收稿日期: 2009-08-10 编辑: 徐娟)

(上接第 27 页)树干对流场的影响。通过对多组试验结果的数模计算分析得出植树护岸条件下河道水流的特性: ①滩地种树使滩地水流偏斜进入主槽,并在滩地上形成滞水区域,滩地与主槽交界处有旋涡; ②滩地种树使滩地流速减小,主槽流速和主槽的过流能力增加; ③滩地种树对水位影响不大。

参考文献：

[1] 黄本胜,赖冠文,邱静,等. 河滩种树对行洪影响实验研究[J]. 水动力学研究与进展, 1999, 14(4): 468-474.

[2] PASCHE E, ROUVE G. Overbank flow with vegetatively roughened flood plains[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111: 1262-1278.

[3] 唐士芳,李蓓. 桩群阻力影响下的潮流数值模拟研究

[J]. 中国港湾建设, 2001, 10(5): 25-29.

[4] 李光炽,周晶晏,张贵寿. 高桩码头对河道流场影响的数值模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(2): 216-220.

[5] 程莉. 植树护岸条件下河道水流的数值模拟[D]. 南京: 河海大学, 2002.

[6] 刘希云. 流体力学中的有限元与边界元方法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1993.

[7] KING I P, NORTON W R, ICEMAN K R. A finite element solution for two - dimensional stratified flow problems[C]// Finite Elements in Fluids. New York: John Wiley&Sons, 1975.

[8] 汪德. 计算水力学理论及运用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989.

[9] 何少苓, WARREN I R. 平面二维明渠流动数值计算中涡黏性系数项的合理选取[J]. 水利学报, 1990(4): 1-10.

(收稿日期: 2009-09-01 编辑: 徐娟)