

Yongding River directly, and how to reduce the gross pollutant, the relevant experiment is carried out at Heituwa wetland. The sampling of two typical monitoring cross-sections, which are inlet of Yongding River and outlet of wetland, are analyzed by the standardized method, especially the effect of water quality purification of the artificial wetland is analyzed. The results show that, the wetland system of Guanting Reservoir achieved good treatment effect on water quality purification and water environment improvement; the treatment efficiency of wetland is affected by the factors of seasonal variation. The research provides the powerful technical support for the North Area using artificial wetland system treating river micro-polluted water.

Key words Guanting Reservoir artificial wetland removal efficiency

1 人工湿地工程概况

官厅水库运行以来,为促进首都及下游地区经济和城市发展做出了巨大贡献。随着上游工农业生产水平的发展,水库污染日益严重,为了改善官厅水库流域水生态环境,2004年5月中德双方合作实施了官厅水库污染水体的生态湿地处理技术示范工程,即黑土洼湿地系统示范工程,该工程结合官厅水库流域实际,充分利用黑土洼沟的有利地形,运用生态工程原理,采用无污染、效率高的人工湿地技术来处理受污染的永定河入库水体,对拦截入库污水、改善官厅水库水质意义重大。

黑土洼湿地系统主要由永定河引水工程、黑土洼稳定塘工程、人工湿地引水、泵站工程和人工湿地工程等组成。

2 试验方法

本次试验选取2007年11月至2008年10月为一个试验周期,取样周期定为半个月,在该湿地系统中确定两个有代表性的监测断面:永定河引水口和退水渠。

分析的水质指标包括高锰酸盐指数 COD_{Mn} 、生化需氧量 BOD_5 、总氮 TN 、氨态氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、硝态氮 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及总磷 TP 等,每月定期现场调查,同步取样,并采用标准化方法分析。其中, TN 采用 GB/T11894-89 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, TP 采用 GB 11893-89 钼酸铵分光光度法, $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用 HJ-013 紫外-可见分光光度计, $\text{NO}_3\text{-N}$ 采用 HJ/T 346-2007 紫外分光光度法, COD_{Mn} 采用 GB 11892-89 酸性高锰酸盐指数氧化法, BOD_5 采用 HJ 505-2009 稀释与接种法。

3 结果与讨论

3.1 人工湿地 BOD_5 和 COD_{Mn} 的去除效果

人工湿地对有机污染物具有较强的降解能力。有机物可以通过植物根系生物膜的吸附、吸收和生物代

谢降解去除^[1],废水中大部分有机物可以通过填料定期更换,最终从系统去除出去^[2]。

试验期间,进水 BOD_5 和 COD_{Mn} 的质量浓度分别为 1.55~28.9 mg/L 和 3.00~53.00 mg/L,年平均质量浓度分别为 8.15 mg/L 和 10.82 mg/L;出口 BOD_5 和 COD_{Mn} 的质量浓度分别为 0.12~7.08 mg/L 和 4.00~48.00 mg/L,年平均质量浓度分别为 2.34 mg/L 和 8.50 mg/L。人工湿地系统对官厅水库水中 BOD_5 和 COD_{Mn} 的平均去除率分别为 63.34% 和 24.76%。进出水口 BOD_5 和 COD_{Mn} 的质量浓度的变化规律如图 1 和图 2 所示。

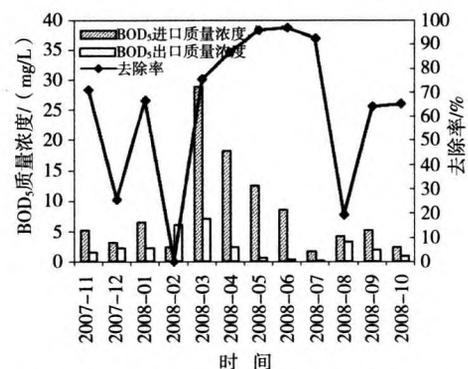


图 1 湿地 BOD_5 质量浓度变化规律

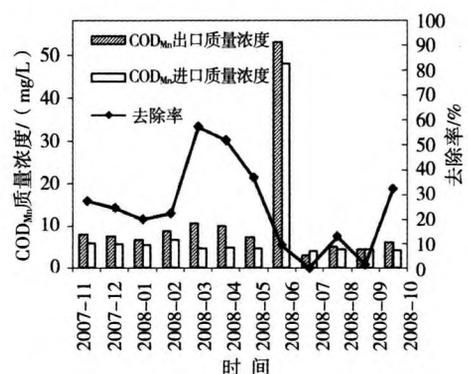


图 2 湿地 COD_{Mn} 质量浓度变化规律

从图 1 可以看出,在 2007 年 11 月份到 2008 年 2 月份湿地系统对 BOD_5 的去除不太明显,甚至 2 月份还出现了出口处浓度大于进口浓度的现象,导致这一现象的原因可能是取样当天的进水 BOD_5 浓度特别低,前

一天吸附在植物及土壤表层的有机质随着水流重新释放入水体的结果。随着季节变化气温逐步升高,以及植物的生长作用,从3月份开始到7月份, BOD_5 进出口浓度变化较大,湿地系统对 BOD_5 具有较好的去除效果,7月份以后,去除率呈现随时间的推移明显降低的趋势,主要是由于气温降低、植物长势逐渐衰落以及永定河断流的影响。从图2可以看出,人工湿地系统出水 COD_{Mn} 的浓度基本与进水保持一致趋势,去除率也相对稳定,没有较大起伏。

气温对人工湿地系统 BOD_5 的净化效率有较大的影响,随着气温的降低,人工湿地系统对 BOD_5 的去除率呈明显下降趋势,而对 COD_{Mn} 的去除率相对稳定。从总体上来说,气温对有机物去除有一定影响,实验证明夏季气温较高,植物长势良好,对污染物有较好的去除效果。

3.2 人工湿地对 TN 和 TP 的去除效果

人工湿地系统中氮的去除主要包括 NH_3-N 的挥发、植物吸收、基质吸附以及微生物的硝化-反硝化作用,而微生物的硝化和反硝化作用是脱氮的主要途径^[9]。人工湿地系统对磷的去除最主要是通过基质对磷的吸附沉淀,同时还有微生物的同化作用(同化作用的定义:又叫做合成代谢,是指生物体把从外界环境中获取的营养物质转变成自身的组成物质,并且储存能量的变化过程)。以及植物的吸收作用来去除。本实验中,湿地对 TN 和 TP 的去除效果分别见图3和图4。

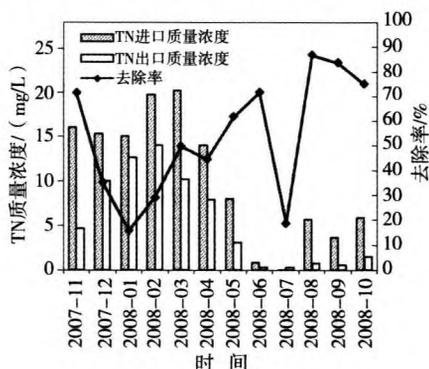


图3 湿地对 TN 的去除效果

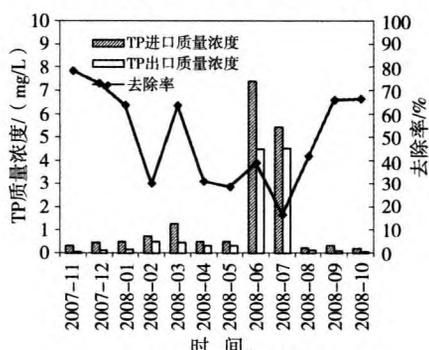


图4 湿地对 TP 的去除效果

从图3可以看出,湿地对 TN 的去除效果比较好,平均去除率为54%。从2007年11月到2008年1月,湿地对 TN 的去除率曲线呈逐渐下降趋势,平均去除率仅40%,究其原因,主要是受季节性气温降低的影响,生物活性降低,硝化和反硝化作用也减弱,分析得出季节性气温对湿地系统 TN 的去除效果影响较大。季节变化气温降低,植物生长缓慢,地上部分枯萎,使得植物吸收作用也减弱。另外,7月上中旬, TN 和 TP 去除率非常小,这是因为7月份上游来水量较少造成的。从2008年7—9月, TN 的去除率明显升高,平均去除率为81%。这表明湿地对 TN 的去除率随季节性气温的变化有较大影响。

湿地系统对 TP 的平均去除率为50%,从图4看出,从2007年11月开始,人工湿地对磷的去除率随着气温下降而呈下降的趋势,说明气温影响磷的去除效果。季节性气温下降、湿地的生物活性降低,从而导致磷的去除率下降,另一个可能原因是基质对磷的去除率通常在开始时很高,随着基质吸附能力下降而降低,并且基质有可能又向系统中释放磷酸盐。

随着季节的变化,到2008年8月份,湿地对 TP 的去除率又逐步升高,这段时间气温最高,芦苇生长旺盛,其根系的供氧能力最强,所以具有较好的生物除磷效果。

总体来说,湿地系统出水的 TN 和 TP 浓度均低于进水浓度,说明湿地系统对 TN 和 TP 具有一定的净化作用。

3.3 人工湿地对 NH_3-N 和 NO_3^-N 的去除效果

湿地中氮主要以 NH_3-N 的形式存在。水体中的 NH_3-N 能消耗水中的溶解氧,造成水体缺氧,是引起水体富营养化的主要物质之一, NH_3-N 主要通过硝化、反硝化去除氮,它的去除被认为是人工湿地去除氮的最主要的形式^[4-5]。湿地好氧微区域(由于湿地植物光合作用产生的氧气,通过植物组织或根毛输送并释放到湿地基质环境中,并在根毛周围形成了一个好氧区域,称之为好氧微区域)中的硝酸细菌可以将 NH_3-N 转化成 NO_3^-N ,从而降低溶液中的 NH_3-N 浓度,使得土壤溶液中高浓度的 NH_3-N 和好氧微区域中低浓度的 NH_3-N 形成浓度梯度,结果会促使 NH_3-N 可以持续地进行硝化作用^[6-7]。

而 NO_3^-N 可以扩散到厌氧区域进行反硝化作用生成 N_2 排出系统。湿地 NH_3-N 和 NO_3^-N 的质量浓度变化规律如图5和图6所示。

由于 NH_3-N 易挥发、不稳定,其浓度变化幅度较

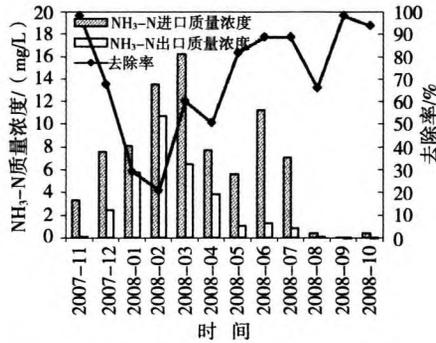


图5 湿地 NH₃-N 质量浓度变化规律

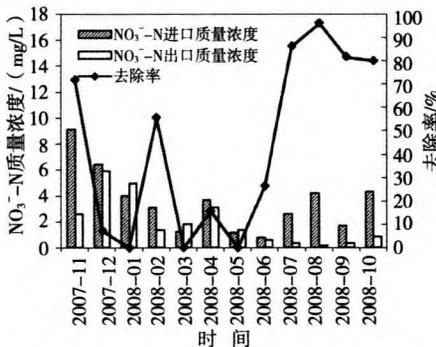


图6 湿地 NO₃-N 质量浓度变化规律

大。从图5可以看出，在整个试验时段内湿地对NH₃-N的去除效果较好，平均去除率为70%，其中6—10月份NH₃-N的平均去除率达到了84%以上，说明气温较高的夏季对NH₃-N的去除十分有利，另外，夏季植物呼吸作用旺盛，而NH₄⁺也是一种植物吸收氮的形式，同时，NH₄⁺也能成为植物组织的一部分，最后通过植物的衰亡而得到去除。

曹向东等(2003年)在实验中发现，湿地内密集的芦苇对NH₃-N的吸收作用是系统净化氮元素的主要途径。芦苇根系内部发育着大量的硝化细菌，NH₄⁺可在硝化细菌的作用下发生氧化，形成NO₃⁻。所以在湿地生态系统中，由于上述过程的协同作用，使NH₄⁺比较容易被截留、吸收并降解，由图5可以看出，湿地对NH₄⁺的净化效果比较明显。

而对NO₃-N的平均去除率为43%，去除效果不及NH₃-N。从本身的角度出发，和NH₃-N相比，硝酸盐更稳定，不易挥发，但NO₃-N容易淋失和下渗。原因可能是因为湿地土壤带负电荷，对NO₃-N的吸附能力较差。由图6可知，湿地中NO₃-N出现了积累，甚至个别月份出现了湿地出口NO₃-N的浓度大于进口的反常现象，究其原因，湿地中NO₃-N主要通过厌氧微生物的反硝化作用去除，若湿地中DO含量较高，使得反硝化作用有一定限制，无法将NO₃-N完全转化去除，从而造成积累。

NO₃-N的积累是湿地系统存在的一个棘手问题。

4 结论

(1) 黑土洼湿地系统对于永定河水中的各种主要污染物起到了良好的净化作用，为北方地区利用人工湿地系统处理河道微污染水体提供了有力的技术支撑。其中TN、TP、BOD₅及NH₃-N去除率较高，而COD_{Mn}和NO₃-N的去除率相对来说要差一些，导致这一现象的原因可能是BOD₅取样前吸附在植物和土壤表层的有机质随水流重新释放进入水体以及湿地反硝化作用受到了一定限制，从而造成NO₃-N的积累作用。

(2) 气温条件是人工湿地污水净化效果的重要影响因素之一，季节变化和气温波动会影响湿地的处理效率。气温高，有利于提高植物根系的供氧能力和系统的生物活性，净化效果也好；气温降低，则处理效果也会随之下降。

(3) 由于永定河水中TN、NH₃-N和有机污染物的浓度很高，经过湿地系统后虽然得到了一定程度的降解，但仍是湿地系统出水中的主要污染物。如何提高黑土洼湿地系统对永定河水中TN、NH₃-N和有机污染物的去除率，减轻官厅水库的富营养程度，有待于进一步实验研究。

参考文献

- [1] 沈耀良. 新型废水处理技术-人工湿地 [J]. 污染防治技术, 1996,9 (1):1-8.
- [2] Comin F A. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff [J]. Wat Sci.Tech,1997,35(5):255-261.
- [3] 丁廷华.污水芦苇湿地处理系统示范工程的研究[J].环境科学, 1992,13 (2): 8-13.
- [4] 刘俊萍,田峰巍,黄强,等.基于小波分析的黄河河川径流变化规律研究[J]. 自然科学进展,2003,13(4):383-387.
- [5] Lange I A,Steel E A. Using wavelet analysis to detect changes in water temperature regimes at multiple scales effects of multi-purpose dams in the Willamette River basin [J]. River Research and Applications,2007,23:351-359.
- [6] 郭文献,夏自强,王鸿翔,等.近50年来长江宜昌站水温变化的多尺度分析[J]. 水利学报,2008,39(11):1197-1203.
- [7] White M A,Schmidt J C,Topping D J.Application of wavelet analysis for monitoring the hydrological effects of dam operation: Glen Canyon dam and the Colorado River at Lees Ferry,Arizona [J]. River Research and Applications,2005, 21:551-565.

(责任编辑:林跃朝)