

# 活水公园复合人工湿地春夏净化效果对比研究

税永红, 魏玉君, 张雷员, 杨 韬, 肖 义, 尹华平, 杨 玲

(成都纺织高等专科学校 染化与环境工程系, 成都 611731)

**摘 要:**依托成都市活水公园复合人工湿地系统,于 2011 年 1—6 月,对该人工湿地系统水流沿程主要水质指标(TN,  $\text{NH}_3\text{—N}$ , TP, DP)进行监测及处理效果分析,以深入研究不同季节人工湿地水流沿程污染物的净化规律。结果表明:主要污染物总氮、氨氮、总磷及溶解性磷的去除率春季分别为 45.5%, 65.7%, 77%, 72.6%, 夏季分别为 56.9%, 87.1%, 76.9%, 73.7%, 对氮的去除效果存在季节性差异,而对磷的去除效果差异性不明显;并联的人工湿地塘床区左湿地系统各主要污染物净化效果明显高于右湿地系统,对氮、磷的去除率平均高 4%和 6%。研究认为,活水公园复合人工湿地系统春夏对不同污染物的净化存在季节差异,人工湿地塘床区不同植物组合与配置对人工湿地处理效果会产生一定的影响。

**关键词:**人工湿地; 废水; 净化效果; 氮去除; 活水公园

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0230-04

## Comparison Study on Purification of Integrated Constructed Wetland in Living-water Garden between Spring and Summer

SHUI Yong-hong, WEI Yu-jun, ZHANG Lei-yuan, YANG Tao, XIAO Yi, YIN Hua-ping, YANG Ling  
(Department of Dyeing Chemistry & Environmental Engineering, Chengdu Textile College, Chengdu 611731, China)

**Abstract:** Water samples were regularly taken at six locations of the Living-Water Garden in Chengdu from January to June 2011 in order to study seasonal efficiency of constructed wetland in wastewater treatment. Water samples were analyzed for total nitrogen (TN), ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{—N}$ ), total phosphorus (TP) and dissolved phosphorus (DP). Removal rates of TN,  $\text{NH}_3\text{—N}$ , TP and DP were 45.5%, 65.7%, 77% and 72.6% in spring, and 56.9%, 87.1%, 76.9% and 73.7% in summer, respectively, nitrogen and phosphorus removal efficiency were 4% and 6% higher in the left zone than in the right zone of the parallel wetland plant pond-bed area, indicating a seasonal difference in removal efficiency of nitrogen and no difference in removal efficiency of phosphorus.

**Key words:** constructed wetland; wastewater; purification efficiency; nitrogen removal; living-water garden

人工湿地(Constructed Wetland)是作为一种经济、高效、低能耗并兼具景观功能的生态水处理技术,自 20 世纪 70 年代以来,在国内外得到广泛的应用与研究<sup>[1-4]</sup>。其中,1997 年底建成投入使用的成都市活水公园,是以水保护为主题,世界上首座以展示“人工湿地水处理系统”为主要内容的生态公园。

利用运行效果好的人工湿地系统来研究污染物净化的沿程变化,特别是不同季节人工湿地对污染物的净化,有助于深入认识湿地系统不同自然条件下的净化能力,为合理设计湿地外部尺寸以及运行过程,

及时调整湿地水力负荷有着重要的指导意义。为此,依托曾获 1998 年国际水岸中心第 12 届国际优秀水岸设计评比授予的“优秀水岸设计最高奖”和 1998 年由国际环境设计研究协会(EDRA)和美国《地域》(PLACES)杂志联合授予的“环境设计奖”,并获“母亲河教育基地”、“省环境保护教育基地”、“市环境科教基地”等荣誉称号<sup>[5-6]</sup>的成都市活水公园(以下简称活水公园),我们监测春、夏两季该人工湿地系统不同水流沿程各级湿地系统的主要水质指标,主要包括 TN,  $\text{NH}_3\text{—N}$ , DP, TP, 分析不同季节情况下组成活

收稿日期:2011-07-03

修回日期:2011-08-25

资助项目:四川省科技厅科技支撑计划项目(2012SZ0065);四川省教育厅自然科学重点项目(11ZA116);校自然科学研究重点项目(2011fzlkA04)

作者简介:税永红(1968—),女,重庆人,硕士,副教授(高级实验师),主要从事水环境污染与治理研究。E-mail:fxsyh@qq.com

水公园的各级湿地污染物的变化规律,探讨产生差异的原因。

1 材料与方法

1.1 采样点确定

活水公园位于四川省成都市府河边(30°40′08″N、104°05′27″E),占地 24 000 m<sup>2</sup>。设计日处理府河水 300 m<sup>3</sup>,工艺流程如图 1 所示<sup>[6-7]</sup>。

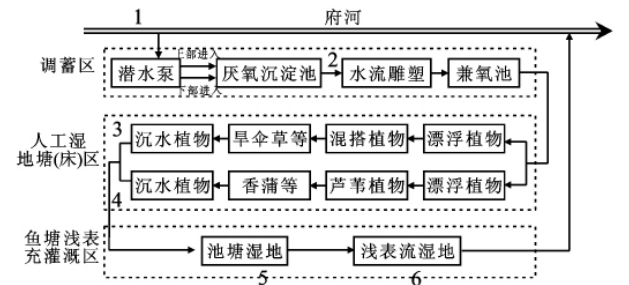


图 1 成都活水公园人工湿地系统流程示意图

由示意图可看出,整个处理区域分为调蓄区、人工湿地塘(床)区和鱼塘浅表充灌区三大部分,人工湿地塘(床)区主要种植的植物包括浮萍(*Lemna minor* Linn.)、旱伞草(*Cyperus alternifolius* Linn.)、香蒲(*Typha angustifolia* Linn.)、芦苇(*Phragmites communis* Trin.)、再力花(*Thalia dealbata* Fraser ex Roscoe)、茭白(*Zizania aquatica* Linn.)、黑藻[*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle]。

根据水流沿程方向,分别在府河(1)、调蓄区厌氧

沉淀池(2)、并联的人工湿地塘(床)区出水处左(3)和右(4)、鱼塘浅表充灌区的戏鱼池池塘(5)及浅表流湿地总出水(6)布设 6 个采样点。

1.2 水样采集

2011 年 1—6 月,按采样点布设位置采集水样进行分析监测,除浅表流湿地(水深约 15 cm)在不搅混沉积物的情况下直接采集表层水外,其余各采样点用简易采样采集水面下 0.5 m 水样进行分样测试。

1.3 监测项目及方法

水样采集后立即送回实验室,根据府河常年污染状况,选择代表性的水质指标:水温, pH, DO, COD<sub>Mn</sub>, TN, NH<sub>3</sub>—N, TP 及 DP 作分析检测。以上各参数的测试方法均按照国家环保局所编制的《水和废水监测分析方法》进行<sup>[8]</sup>。以各监测点平均值按下式计算各级湿地水质指标的去除率。

$$\rho = \frac{c_0 - c_i}{c_0} \times 100\%$$

式中:*c*<sub>0</sub>——府河原水污染物浓度;*c*<sub>*i*</sub>——第 *i* 个采样点污染物浓度。

2 结果与分析

2.1 进水水质

2011 年 1—6 月由潜水泵泵入人工湿地系统的府河原水春夏水质如表 1 所示。

表 1 府河污水春夏水质

季节	水温/℃	pH	COD <sub>Mn</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> —N/(mg·L <sup>-1</sup> )	TP/(mg·L <sup>-1</sup> )
春	14.0	7.82	3.88	3.96	3.87	0.40
夏	24.9	7.62	4.52	3.08	2.63	0.42
V 类标准	—	6~9	15	2.0	2.0	0.4

注:V 类标准值参考标准为地表水环境质量标准(GB3838—2002)。

监测数据表明,进入湿地的府河污水不论春夏,按单因子评价方法都属劣 V 类水质,其超标主要因子为总氮、氨氮及总磷(其中,总磷春季虽未超标,但已达到 V 类标准值)。因此,重点考察氮、磷在人工湿地系统沿程不同季节的变化。

2.2 TN 去除效果

从图 2 可看出,受污染河水总氮春季为 3.96 mg/L,夏季为 3.08 mg/L,进入人工湿地系统后,沿程变化趋势基本相同,总氮浓度逐级降低,两季总出水 TN 均低于 2.0 mg/L,但在夏季总出水 TN 浓度存在明显上升的现象;从沿程对 TN 的去除率来看,去除率逐级提高,总去除率春夏两季分别为 45%和 57%,夏季去除率最高达到 90%,夏季去除效果明显优于春季,但总出水由于在浅表流人工湿地段 TN 浓度上升

导致去除率下降,春季无此现象。可能与该段浅表流区夏季人为活动增强有关。

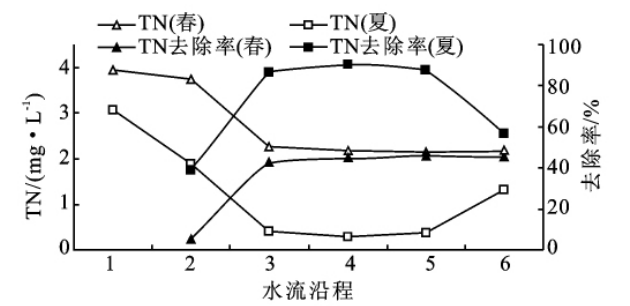


图 2 春夏总氮沿程变化趋势及去除率变化曲线

从图 2 还可看出,对总氮的去除主要发生在厌氧沉淀池和并联的两级植物塘(床)湿地,夏季厌氧沉淀池去除率较春季明显,提高了 32%,而两级并联植物塘

(床)湿地,左湿地对总氮的去除率两个季节较右湿地平均高 6%,这与夏季水温升高,硝化与反硝化作用加强、湿地植物配置以及年初对右湿地进行了大规模植物修整,湿地还未完全发挥其作用有关。

### 2.3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果

氨氮长期以来是活水公园出水主要超标污染物之一,随着成都市人民政府对府南河的治理,氨氮入水水质已得到明显改善,从 2006 年氨氮年平均值 13.9 mg/L 下降至目前入水 2.63~3.87 mg/L,因而经过活水公园人工湿地系统处理之后出水水质氨氮 0.33~1.34 mg/L,达到地表水环境质量标准 II—IV 类标准。

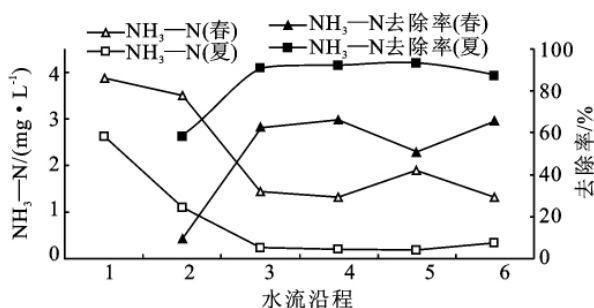


图 3 春夏氨氮沿程变化趋势及去除率变化曲线

从图 3 可看出,氨氮沿程净化趋势两季变化与总氮变化基本相同,但在春季池塘湿地氨氮有一升高的过程,这可能与该点 pH 值的升高导致鱼池内源氨挥发有关,监测表明在夏季总出水氨氮浓度有上升的现象,这与总氮在夏季总出水浓度升高相吻合,但总氮增加幅度较氨氮更明显,这可能与浅表流湿地中底泥有机氮的搅动升高有关;从沿程对氨氮的去除率来看,去除率逐级提高,总去除率春夏两季分别为 65.7% 和 87.1%。夏季去除率最高达到 93.1%,明显较春季去除效果好。但总出水由于在浅表流人工湿地段氨氮浓度上升导致去除率稍有下降,春季无此现象。两级并联植物塘(床)湿地,左湿地对氨氮的去除率两个季节平均较右湿地高 2%。

结合图 2 与图 3 可看出,夏季对氮的去除效果明显优于春季,而活水公园人工湿地沿程氮的组成主要以氨氮为主,两季氨氮占总氮的百分比平均为 66%,对氮的去除也以氨氮为主,特别是夏季,随着气温的升高,湿地植物利用及微生物硝化与反硝化物作用的增强,使该系统保持对氮的高效去除<sup>[9]</sup>。结合两级并联植物塘(床)湿地对总氮及氨氮的去除情况,可以看出,左湿地对氮的去除率两个季节分别较右湿地平均高 4%。

### 2.4 TP 去除效果

从图 4 可看出,受污染河水春季和夏季总磷浓度分别为 0.396 mg/L 和 0.406 mg/L,进入人工湿地系

统后,从沿程变化趋势来看,两季变化趋势相同,出水 TP 分别为 0.083 mg/L 和 0.107 mg/L,夏季稍高于春季;从沿程对 TP 的去除率来看,去除率逐级提高,总去除率春夏两季分别为 77% 和 73.7%,春季较夏季稍高,季节差异不明显,这与阳小成对活水公园 1—6 月总磷的去除研究结果相一致<sup>[10]</sup>,这可能与春季低温水体停留时间较长所弥补有关<sup>[11]</sup>;夏季厌氧沉淀池对总磷的去除效果优于春季,主要是由于夏季府河水浊度高于春季,进入沉淀池后充分发挥了沉淀物的吸附作用,磷得以较好去除。

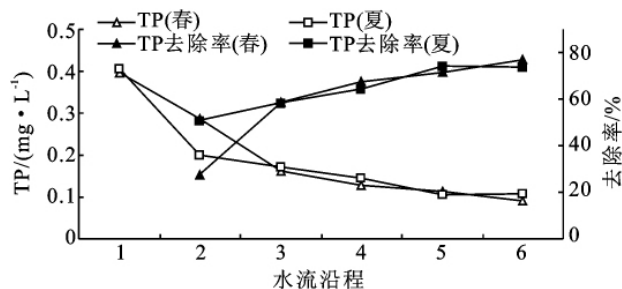


图 4 春夏总磷沿程变化趋势及去除率变化曲线

2006 年 1 月至 2008 年 3 月活水公园总磷入水平均值为 0.315 mg/L,出水 0.049 mg/L,平均去除率达 84.4%<sup>[6]</sup>。与之相比较,2011 年 1—6 月入水总磷浓度已接近或超过地表水 V 类水标准规定 0.4 mg/L,去除率有一定下降,这与湿地基质吸附量下降有关<sup>[12]</sup>,但整个湿地系统不论春季还是夏季,对总磷都能发挥较好的去除效果。

两级并联植物塘(床)湿地,左湿地对总磷的去除率两个季节分别较右湿地平均高 9%,这一方面与湿地植物配置有关,另一方面与右湿地年初进行了大规模植物修整,湿地还未完全发挥其作用有关。

### 2.5 DP 去除效果

水中溶解性磷是生物可直接吸收的营养元素。

从图 5 可看出,春季和夏季溶解性磷浓度分别为 0.241 mg/L 和 0.252 mg/L,进入人工湿地系统后,沿程变化两季变化趋势相同,出水分别为 0.066 mg/L 和 0.058 mg/L;从沿程对溶解性磷的去除率来看,变化趋势也很一致,总去除率春夏两季分别为 72.6% 和 76.9%,夏季较春季稍高,季节差异不明显;但夏季厌氧沉淀池对总磷的去除效果优于春季,主要是由于夏季府河水浊度高于春季,进入沉淀池后充分发挥了沉淀物的吸附作用,磷得以较好去除。

从图 5 还可看出,在并联的两级植物塘(床)区,左湿地平均处理效果较右湿地高 3%,这两级并联湿地不同之处主要在于植物配置不同,以及左湿地植物较右湿地植物较早植入有关。结合两级并联植物塘

(床)湿地对总磷及溶解性磷的去除情况,可以看出,左湿地对磷的去除率两个季节分别较右湿地平均高 6%。

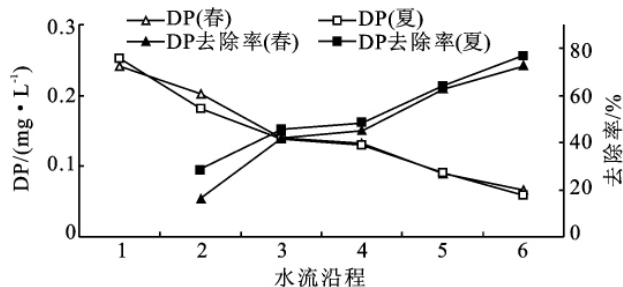


图 5 春夏溶解性磷沿程变化趋势及去除率变化曲线

### 3 结论

经过 14 a 的运行,活水公园人工湿地系统春夏季节对受污染河水氮、磷仍具有较好的处理效果,春夏两季对主要污染物总氮、氨氮、总磷及溶解性磷的去除率春季分别为 45.5%,65.7%,77%,72.6%,夏季去除率分别为 56.9%,87.1%,76.9%,73.7%;

活水公园人工湿地系统对氮的去除效果存在季节性差异,夏季明显优于春季,而对磷的去除效果春夏两季差异性不明显;

人工湿地塘(床)不同植物组合与配置及植物的生长状况对人工湿地处理效果会产生一定的影响,表现在并联的人工湿地塘床区左湿地系统各主要污染物净化效果好于右湿地系统,对氮、磷的去除率平均高 4%和 6%。

致谢:四川大学唐亚教授对论文撰写给予了大力帮助,在此表示感谢!

#### 参考文献:

[1] Dong Zeqin, Sun Tieheng. A potential new process for

improving nitrogen removal in constructed wetlands: Promoting coexistence of partial-nitrification and ANAM-MOX[J]. Ecological Engineering, 2007, 31(2): 69-78.

[2] Babatunde A O, Zhao Y Q, O' Neill M, et al. Constructed wetlands for environmental pollution control: A review of developments, research and practice in Ireland [J]. Environment International, 2008, 34(1): 116-126.

[3] Tuszyńska A, Obarska-Pempkowiak H. Dependence between quality and removal effectiveness of organic matter in hybrid constructed wetlands [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(14): 6010-6016.

[4] 程天行,陈季华,郑向勇,等. 人工湿地去污机理的研究进展[J]. 现代农业科技, 2008(21): 290-292.

[5] 梁小琴. 成都活水公园获“环境设计奖”[N]. 人民日报, 1999-07-05(1).

[6] 黄时达. 成都市活水公园人工湿地系统 10 年运行回顾 [J]. 四川环境, 2008, 27(3): 66-70.

[7] 王庆安,钱骏,任勇,等. 人工湿地系统处理技术在成都市活水公园中的应用[J]. 科学中国人, 2000(6): 27-29.

[8] 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, 2002.

[9] 李超,李卉. 人工湿地脱氮机理研究[J]. 能源与环境, 2010(4): 7-8.

[10] 阳小成. 成都活水公园人工湿地对锦江河水年度净化效果的研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(5): 591-596.

[11] Maehlum T, Stalnacke P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, seasons, loading, rates, and input concentrations[J]. Water Science and Technology, 1999, 40(3): 273-281.

[12] 吴振斌,陈辉蓉,成水平,等. 人工湿地系统磷的去除研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 28-35.

(上接第 229 页)

#### 参考文献:

[1] 李兴中,徐际鑫,李双岱. 贵阳地区岩溶水文地质特征 [J]. 中国岩溶, 1985(2): 66-75.

[2] 曹卫锋. 贵阳市 2000-2030 年地下水资源及环境地质问题预测分析[J]. 贵州地质, 1998, 15(4): 368-376.

[3] 贵州大学. 贵阳市地下水资源普查报告[R]. 2005.

[4] 廖义玲,刘祥洋,贺珺,等. 岩溶脆弱环境下贵阳盆地土壤和植被的保护[J]. 地球与环境, 2008, 36(3): 202-206.

[5] 刘建忠等. 贵阳市城市水土保持的制约因素与应对策略 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 467-469.

[6] 石登红,陈训. “林城”贵阳主要绿化植物调查及其生态效益研究[J]. 贵阳学院学报, 2009, 4(3): 18-20.