

# Experimental Study on Treatment of the Ling Jian Xi River Wastewater in Guilin by Integrated Constructed Wetland

Caiyan Kang<sup>1,2\*</sup>, Weiming Mo<sup>3</sup>, Chunqiang Chen<sup>1</sup>, Zhenming Zhou<sup>1</sup>, Fang Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Environmental Science and Resource, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

<sup>2</sup>The Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin 541004, China

<sup>3</sup>College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

Email: kangcy\_ok@126.com

**Abstract:** To counter the contaminative problems of rivers and to consider the current pollution status of Ling Jian Xi, We described the technical design of small-scale plots of constructed wetland (CW) along with details of Ling Jian Xi River wastewater purification effects. Results demonstrated that the removal rates of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP, COD and  $\text{BOD}_5$  were 92.35%, 87.18%, 85.10%, 87.11% respectively. The integrated constructed wetland decrease wetland jam from accumulating organics and improve the N and P removal efficiency. It has a applied prospects for treating eutrophic water.

**Keywords:** Integrated constructed wetlands; wastewater; removal efficiency

## 组合人工湿地系统处理桂林市灵剑溪污染水体试验研究

康彩艳<sup>1, 2\*</sup>, 莫蔚明<sup>3</sup>, 陈春强<sup>1</sup>, 周振明<sup>1</sup>, 李芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广西师范大学环境与资源学院, 桂林, 中国, 541004

<sup>2</sup>广西环境工程与保护评价重点实验室, 桂林, 中国, 541004

<sup>3</sup>广西师范大学化学与化工学院, 桂林, 中国, 541004

Email: kangcy\_ok@126.com

**摘要:** 针对河流受污染问题, 结合灵剑溪当前污染状况, 阐述了模拟组合人工湿地小试系统的设计, 研究组合人工湿地系统净化受污染水体的机理, 及其去除效率。结果显示: 模拟组合人工湿地对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、COD、 $\text{BOD}_5$  的去除效率分别为 92.35%、87.18%、85.10%、87.11%; 植物生物滤池、生物膜氧化塘与人工湿地的组合能极大的缓解有机质积累所导致的人工湿地堵塞, 提高微生物脱氮除磷效果, 对处理富营养化水体具有明显的应用前景。

**关键词:** 组合人工湿地; 污染水体; 去除效果

### 1 引言

漓江, 做为国家级风景名胜区, 水环境保护一直是世人关注的焦点。多年来, 漓江干流两侧风景名胜区范围内严格限制污染企业发展以及生活污水的排放, 使桂林漓江干流基本上保持了良好的水质。但对各支流水域的治理却滞后, 对其支流之一——灵剑溪的研究及其治理甚少涉及。灵剑溪是市区内漓江的二级支流之一, 位于桂林市七星区境内, 流经众多著名

胜迹, 把沿途名胜连成一条优美的风景线。但从七十年代中期以来, 随着城市规模的不断扩大, 特别是一些手工作坊和养殖业的兴起, 附近居民不断增加, 城市排水系统建设跟不上城市建设的速度, 长年以来, 沿岸部分工厂生产废水未按要求达标排放, 居民生活污水及一些小作坊的废水直接排入河中, 对灵剑溪河水造成的污染, 已超出河流自我净化及恢复能力, 长期处于劣 V 类水质, 其污水下泄至小东江汇入漓江, 对漓江污染贡献较大, 不仅影响了漓江的水质, 同时也影响了灵剑溪沿岸的景观环境。人工湿地作为一种高效低耗生态处理技术, 依赖于“自然净化系统”的生

资助信息: 广西教育厅资助项目(200607MS139); 广西环境工程与保护评价重点实验室资助项目; 广西师范大学博士科研启动基金资助项目

态循环作用,减少了人为的强化过程,在对受污水体的生态恢复中,近年来得到国内外的广泛应用研究<sup>[1-4]</sup>。但是人工湿地本身存在的易堵塞、充氧能力差而导致硝化作用不明显等缺陷<sup>[5]</sup>,削弱了人工湿地的净化作用,也阻碍了其在实际中的应用。基于此本文提出了植物生物滤池-生物膜氧化塘-潜流人工湿地组合系统,研究组合人工湿地系统对受污染水体的净化能力,为灵剑溪受污水体的生态修复提供参考依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 模拟人工湿地的构建

模拟组合人工湿地由一个进水箱和串联的三个塑料箱组成,其中进水箱的长宽高为 2.0m、0.77m、0.66m,三个塑料箱长宽高为 1.0m、0.55m、0.44m,采用连续进水方式,在每个塑料箱侧面均有一个水龙头,用于取样和排水。工艺流程如图 1 所示,第一单元 A 为模拟植物生物滤池,其中漂一有定植孔的聚苯乙烯泡沫栽培定植板,栽种植物春羽被固定在定植孔中;第二单元 B 为生物膜-氧化塘,其中放有一铁框,铁框上悬挂有软性填料;第三单元 C 为潜流人工湿地,其底层为厚度 17~20cm、平均粒径为 35cm 的碎石砖,上层为厚度 10~15 cm、平均粒径为 0.3~0.8 cm 的沸石。污水水样采集自灵剑溪径流市区的六合路花园桥下,此处污染程度较大,经人工模拟配水至与灵剑溪平均水质相似后,进入系统,混合水样在系统中停留时间约为 5d。

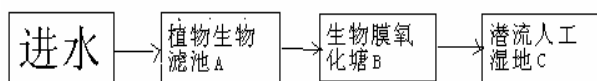


Figure 1 process flow of Integrated constructed wetlands system

图 1 组合人工湿地工艺流程

### 2.2 系统进水平均水质

运行期间进水的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD、 $\text{BOD}_5$ 、TP 的平均浓度分别为: 6.19mg/L、97.05 mg/L、30.85 mg/L、6.07 mg/L。

### 2.3 分析方法

系统稳定运行后,开始在每个池出口处及总进水口采样研究,测定水样的 COD、 $\text{BOD}_5$ 、TP、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,测定方法采用文献<sup>[6]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除

人工湿地中,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除机理是多种多样的,包括挥发、氨化作用、植物吸收和利用、基质的吸附和微生物转化,微生物的硝化、反硝化作用是其中主要过程。图 2 可知,组合工艺对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除效果很好,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  进水浓度 4.87-9.52 mg/L,平均  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为 6.19mg/L,出水 0.10-2.23 mg/L,平均为 0.47 mg/L,能稳定达到二级地表水标准<sup>[7]</sup>;一级、二级和三级湿地对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的平均去除率分别为 25.20%、65.44%和 70.63%,二级湿地生物膜氧化塘对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的平均去除率大大高于一级湿地,三级湿地高于二级湿地,三级湿地系统平均去除率为 92.35%。由此可见,三级人工湿地  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除并非三个单级人工湿地的简单叠加,而是工艺优化组合的结果。污水中无机氮作为植物生长过程中不可缺少的物质可以被植物摄取,但这部分仅占总氮量的很少一部分,因此人工湿地除氮的主要机理是微生物的硝化反硝化过程的作用<sup>[8]</sup>,氧化塘提供的好氧环境使得进水中的有机物能够被附着在生物膜上的微生物所利用而得到去除,这样就极大的缓解了有机质积累所导致的人工湿地堵塞,此外其存在的好氧环境也大大的提高了微生物脱氮的硝化反应能力。氧化塘中固定的软性填料为藻类的固定生长提供了良好的环境,有助于形成藻类生物膜,提高了脱氮的效果。此外,人工湿地系统同时去除有机物和含氮化合物时,自养菌和异养菌对空间和氧气有竞争,在进水端附近有机物浓度较高,降解消耗了大量的氧,导致出水端附近氧气不足,因此是好氧硝化菌形成优势菌硝化氮的制约性因素。因此,在单级人工湿地中含氮化合物难以有效去除。本研究采用三级人工湿地系统,由于每级湿地的出水端紧接下一级湿地的进水端,湿地进水端具有丰富的氧含量,消化细菌的需氧问题得到解决。由于引入多级湿地,在二、三级湿地进水端营造低浓度有机物、高浓度溶解氧的环境强化了系统的硝化作用。如此,异养菌和自养菌能够在适合自己的最佳环境条件下充分发挥其去除污染物的能力,大大提高了系统的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除效率。

### 3.2 磷的去除

当进水 TP 浓度在 4.38~13.42 mg/L 时,系统的平均去除效率为 87.18%,出水 TP 浓度稳定在 0.47-1.67mg/L,

平均出水为 0.78 mg/L 左右。人工湿地中对磷的去除途径有：植物的吸收，基质的吸附、络合及与  $Ca$ 、 $Al$ 、 $Fe$  和土壤颗粒的沉淀反应，微生物吸收利用<sup>[9]</sup>。整个系统能够保持较高的 TP 去除率，这不仅是因为植物对磷的摄取作用，湿地环境中好氧、厌氧的交替出现也实现了微生物对磷的过量积累，同时微生物对有机磷化物有分解的作用，产生无机磷化物，从而提高了植物和部分微生物的吸收利用以及湿地基质的吸附，提高了达到有效去除磷的效果。提高了湿地的除磷效果，而且基质填料中添加了通透性好，表面积大，具有吸附能力的多孔介质沸石、碎石等可与  $PO_4^{3-}$  反应生成正磷酸盐沉淀，使磷被固定下来<sup>[10]</sup>，更重要的是，此组合湿地由于前面两级湿地的存在，极大地缓解了有机物积累对三级潜流湿地可能造成的堵塞，从而使其能充分发挥固定磷的作用，提高了 TP 去除效率。

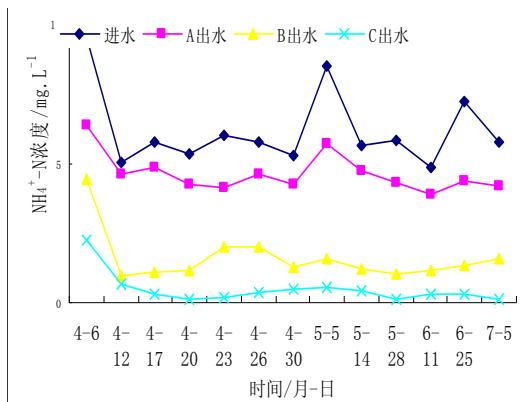


Figure 2. Removal effects of  $NH_4^+-N$  in Integrated constructed wetlands system  
图 2. 组合人工湿地系统  $NH_4^+-N$  去除效果

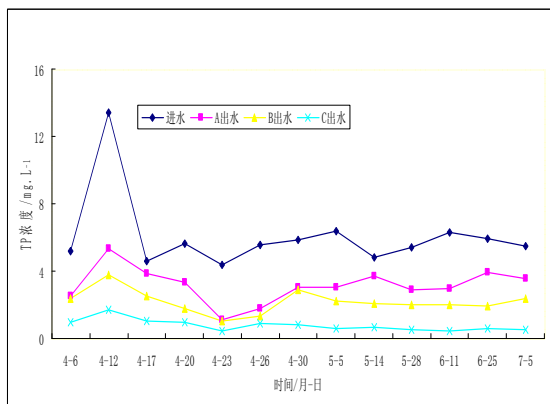


Figure 3. Removal effects of TP in Integrated constructed wetlands system  
图 3. 组合人工湿地系统 TP 去除效果

### 3.3 有机污染物的去除

当进水 COD、 $BOD_5$  浓度分别在 80.30-141.02 mg/L、22.58-46.83 mg/L 时，由图 4、图 5 可知，组合人工湿地系统对污水中 COD、 $BOD_5$  都有较好的去除效果，平均去除率分别为 85.10%和 87.11%，出水中 COD 平均浓度为 14.46mg/L， $BOD_5$  浓度为 3.98mg/L。基本达到了国家三类地面水环境质量标准（GB3838-88）。在人工湿地中，不溶性有机物通过湿地的沉淀、过滤可以很快从废水中截留下来，并被微生物加以利用；可溶性有机物则可通过生物膜的吸附及微生物的代谢过程被去除<sup>[11]</sup>。

可见，三级人工湿地系统优于单级人工湿地。这是因为，通过合理的工艺优化组合，在二级、三级湿地中增强了含氮化合物的硝化作用，因此在二级、三级湿地中硝酸根离子浓度增加了，由于对硝酸根离子

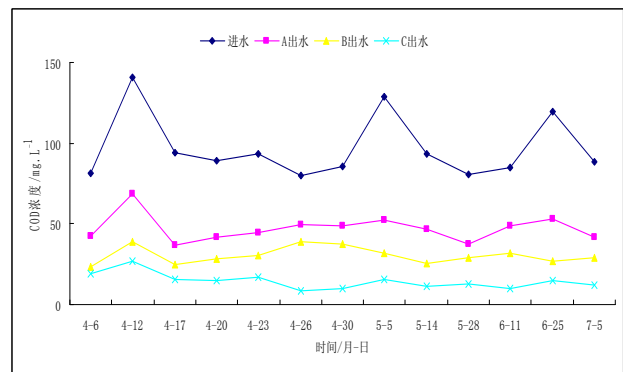


Figure 4. Removal effects of COD in integrated constructed wetlands system  
图 4. 组合人工湿地系统 COD 去除效果

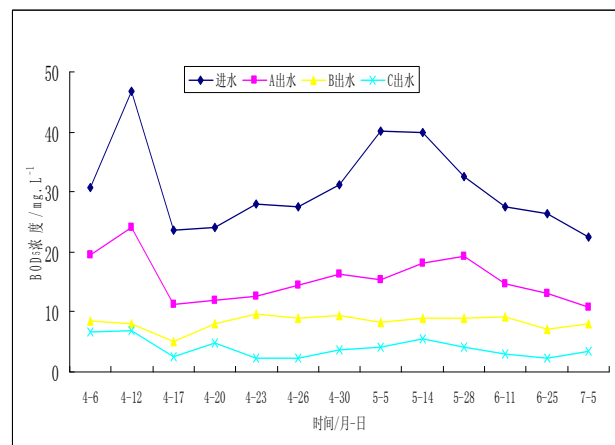


Figure 5. Removal effects of  $BOD_5$  in integrated constructed wetlands system  
图 5. 组合人工湿地系统  $BOD_5$  去除效果

的反硝化需消耗一定量的有机物，所以在二级、三级湿地中在提高  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除效率的同时加强了有机物的去除。

#### 4 结论

组合湿地系统可以弥补单级人工湿地对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除效率不高的缺点，对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除效果比较好，说明污水通过植物生物滤池、生物膜氧化塘，不但可以去除其中的可沉淀物质，而且氧化塘中固定的软性填料为藻类的固定生长提供了良好的环境，有助于形成藻类生物膜，提高了脱氮除磷的效果，植物生物滤池、氧化塘提供的好氧环境使得进水中的有机物能够被附着在生物膜上的微生物所利用而得到去除，这样就极大的缓解了有机质积累所导致的人工湿地堵塞，延长湿地的使用寿命，此外组合系统对自养菌和异养菌营造了各自适合的最佳环境条件，使其能充分发挥其去除污染物的能力，提高了污染物的去除效率，从而使其净化能力远大于单级人工湿地。组合人工湿地对 COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 具有稳定的去除效果，运行期间，出水 COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 平均浓度分别为 14.46、3.98、0.47、0.78mg/L。

#### References (参考文献)

- [1] YU Zhimin, YUAN Xiaoyan, CUI Lihua, et al. Removal efficiency of integrated constructed wetlands for treating polluted river water[J], Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010,4(4) P 741-745(Ch).

- 余志敏,袁晓燕,崔理华,等.复合人工湿地对城市受污染河水的净化效果[J].环境工程学报,2010,4(4) P 741-745.
- [2] YANG Xu, YU SHuili, ZANG Suying, et al. Efficiency of a subsurface flow constructed wetland in pretreating a micro-polluted drinking water source[J], Acta Scientiae Circumstantiae, 2010,30 (4),P 768 - 774 (Ch).
- 杨旭,于水利,臧淑英,等.微污染饮用水源水潜流人工湿地预处理的效能研究 [J].环境科学学报, 2010,30 (4),P768 - 774.
- [3] WANG Sheng, XU Zuxing, LI Huaizheng. Enhancement Strategies in Vertical Flow Constructed Wetlands for Domestic Waste water Treatment[J], 2006,27(12),P 2422-2438 (Ch).
- 王晟,徐祖信,李怀正.潜流湿地处理生活污水时的强化方法[J],环境科学, 2006,27(12): 2422-2438.
- [4] The State Environmental Protection Administration. Analysis method in Water and wastewater monitoring(Fourth edition ) [M].Beijing: China Environmental Science Press,2006.
- 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(第四版) [M].北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [5] The State Environmental Protection Administration. Environmental Quality Standard for Surface Water(GB 3838-2002) 国家环境保护总局,《地表水环境质量标准(GB 3838-2002)》.
- [6] Jos T A,Verhoeven,Arthur F M. Meuleman Wetlands for Wastewater Treatment Opportunities and Limitations[J].Ecological Engineering,1999,12: 5-12
- [7] Xu D F, Xu J M, Wu J J, et al. Studies on the phosphorus sorption capacity of substrates used in constructed wetland systems[J]. Chemosphere, 2006, 63(2):344-352
- [8] Prochaska C A, Zouboulis A I. Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate[J]. Ecological Engineering, 2006,26(3):293-303
- [9] Maine M A, Sufie N, Hadad H, et al. Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgical industry[J]. Ecological Engineering, 2006,26(4):341-347