

不同植物配置人工湿地冬季生活污水净化效果比较

蒋永荣¹,莫德清¹,段钧元²,田茂龙¹,张连海¹,陈 琴¹

(1. 桂林电子科技大学电子工程学院,广西 桂林 541004; 2. 广州市华南水务工程技术有限公司,广东 广州 510655)

摘要 以某三级串联水平潜流人工湿地污水处理工程为实验基地,研究了 5 种华南地区常见湿地植物的选择和配置对净化冬季生活污水的影响,为华南地区人工湿地合理优化配置植物提供一定的依据。结果表明:人工湿地系统在冬季对 COD、BOD₅、TP 和大肠菌群仍有较好的去除效果,对 TN 的去除效果较差。在实验条件下,COD 和 BOD₅ 的降解主要发生在第一级湿地单元,TP 和 TN 的降解主要发生在第三级湿地单元。三级串联湿地系统净化效果较佳的植物搭配是:第一级栽种水生美人蕉,第二级栽种再力花,第三级栽种菖蒲。

关键词 人工湿地 植物配置 生活污水 净化效果

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)03-0025-04

A comparison of treatment of sanitary wastewater in winter by different plants in constructed wetlands

JIANG Yong-rong¹, MO De-qing¹, DUAN Jun-yuan², TIAN Mao-long¹, ZHANG Lian-hai¹, CHEN Qin¹

(1. School of Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. Guangzhou SouthChina Water Business Project Technique Company Limited, Guangzhou 510655, China)

Abstract: The effects of five common wetland plants in South China on treatment of sanitary wastewater in winter was studied with a horizontal subsurface flow constructed wetland composed of three stages in series. This can provide a guide for reasonable and optimum plant combination of constructed wetlands in South China. The results show that, in winter, the efficiency of removal of COD, BOD₅, TP and coliform is high, while the treatment effects of TN are low. Under the experimental conditions, the removal of COD and BOD₅ mainly occur in the first stage, and the removal of TP and TN mainly occur in the third stage. The optimum plant combination for a three-stage series constructed wetland is: Canna generalis in the first stage, Thalia dealbata in the second stage and Acorus calamus Linn in the third stage.

Key words: constructed wetlands; plant combination; sanitary wastewater; treatment performance

人工湿地是 20 世纪 70 年代发展起来的一种污水处理技术。该技术具有以下特点:净化效果好,工艺设备简单,运转维护方便,系统配置可塑性强,对负荷变化适应性强,工程基建和运行费用低,出水具有一定的生物安全性,生态环境效益显著,可实现废水的资源化等^[1],已广泛应用于中小城市污水处理实践^[2-5]。在人工湿地污水处理系统中,水生植物是人工湿地处理系统的重要组成部分^[6-7],其选择是否恰当,配置是否合理,将直接关系到人工湿地的处理效果。已有研究^[8-9]表明,多种植物的合理搭配较单

一植物具有较好的处理效果,混合种植不仅使湿地净化率提高,且净化效果更稳定。但目前已有的研究主要选取芦苇、香蒲、茭白和灯心草等少数几种湿地植物混合栽种进行研究,由于湿地在各地区有其适宜的植物,这样大大降低了其实用价值。在冬季低温条件下,湿地植物易出现休眠现象,根系微生物代谢减缓,导致湿地处理效率下降,因此保持人工湿地冬季的处理效果显得十分重要。

本研究以某高校三级串联水平潜流人工湿地污水处理工程为基础,选取适应于华南地区生长且具

有观赏价值的 5 种湿地植物为研究对象,探索不同植物的选择搭配对人工湿地冬季净化效果的影响,为合理选择人工湿地植物及解决湿地冬季去除率下降的问题提供科学依据。

1 运行条件和研究方法

1.1 工艺流程

整个污水处理工程建于某高校东面的空地。校区生活污水经厌氧折流板反应器(ABR)处理后,进入如图 1 所示的三级串联人工湿地处理系统,每级由 4 块大小相同的处理单元组成,合计 12 块湿地单元,占地面积约 10 000 m²。第一级湿地用 A1、B1、C1、D1 表示,每块湿地单元面积为 51.2 m×20.0 m,共 4 096 m²。第二级湿地用 A2、B2、C2、D2 表示,每块湿地单元面积为 46.0 m×18.0 m,共 3 312 m²。第三级湿地用 A3、B3、C3、D3 表示,每块湿地单元面积为 40.0 m×16.3 m,共 2 608 m²。

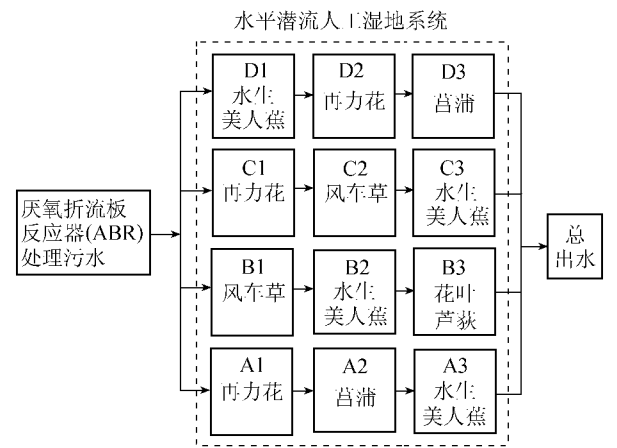


图 1 人工湿地系统流程设置示意图

人工湿地构筑物采用砖结构,池底及池壁作防渗处理,以防污染地下水。湿地池深 1.3 m,填料为石灰石,上面直接种植水生植物。各级湿地填料粒径分别为 24 mm、13 mm 和 11 mm,填料厚度均为 1 m。在每级进出水口敷设水管,以达到均匀布水及集水,湿地正常运行时为潜流状态。总出水进入人工塘后排入附近江河。

1.2 湿地植物的选择

挺水植物是湿地植被系统的主要植物类型,本湿地选取 5 种华南地区常见的挺水植物来构建潜流型人工湿地,分别是再力花(*Thalia dealbata*)、风车草(*Cyperus alternifolius*)、水生美人蕉(*Canna indica*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、花叶芦荻(*Miscanthus sacchariflorus* var. *variegata*)。植物配置见图 1,其中有 4 种三级串联植物搭配种植方式:A(A1 再力花、A2 菖蒲、A3 水生美人蕉),B(B1 风车草、B2 水生美人蕉、B3 花叶芦荻),C(C1 再力花、C2 风车草、C3 水生美人蕉),D(D1 水生美人蕉、D2 再力花、D3 菖蒲);其中三级串联湿地 A、B、C 和 D 并行构建。植物种植密度为 6 株/m²。

蕉、B3 花叶芦荻),C(C1 再力花、C2 风车草、C3 水生美人蕉),D(D1 水生美人蕉、D2 再力花、D3 菖蒲);其中三级串联湿地 A、B、C 和 D 并行构建。植物种植密度为 6 株/m²。

1.3 水质水量

人工湿地处理水源是某高校教工和学生生活污水经厌氧池处理后的出水,设计处理量为 2 700 m³/d,表面水力负荷为 0.3 m³/(m²·d),设计停留时间为 24 h。但水质、水量随季节和气候条件波动较大。流量最小时不足 1 000 m³/d,最大时可达 3 000 m³/d 以上,一般约为 1 200 m³/d。试验期间运行方式为全天连续进水。水质检测结果见表 1。

表 1 人工湿地进水水质情况

项目	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	pH
范围	86.95~216.86	10.73~45.99	7.02~26.26	4.75~8.86	7.23~7.62
平均值	131.19	29.83	14.87	7.04	7.38

1.4 试验方法

人工湿地植物种植于 2006 年 9 月,经过 2 个月运行,植物生长态势良好,株高 0.7~1.5 m。所选 5 种挺水植物在华南地区冬季都生长良好,考虑到桂林属桂北地区,属气候南北交接带,冬季较为严寒,为检测在冬季非植物旺盛生长期所选 5 种植物处理污水效果,进行了试验监测。在人工湿地运行 2 个月,试验从 2006 年 11 月 9 日开始到 2007 年 1 月 21 日结束。试验期间,平均气温 9℃,平均进水温度 12.5℃,平均出水温度 12℃。每周同时对各湿地单元进水、出水和总出水采用标准方法^[10]测定其中的 COD、BOD₅、TN、TP 和大肠菌群数。COD 采用标准重铬酸钾法,BOD₅ 采用稀释接种法,TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,TP 采用过硫酸钾氧化-钼锑抗分光光度法,大肠菌群数采用滤膜法。数据分析使用 Microsoft Excel 软件,所得去除率数据为 7 次平均值。

2 试验结果与分析

2.1 各级湿地单元除污效率比较

图 2~5 分别比较了不同植物地块第一级、第二级、第三级湿地单元及三级串联湿地系统对 COD、BOD₅、TP、TN、大肠菌群去除率的差异。同级不同取

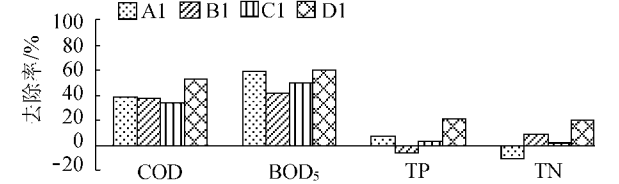


图 2 第一级湿地单元对污染物的去除率

样地块湿地进水情况、基质、运行方式均相同,唯一不同的是其植物配置。

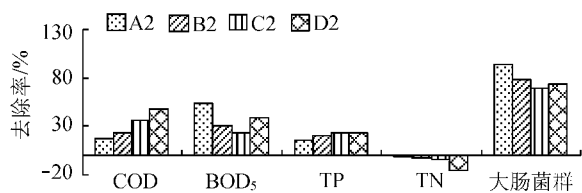


图3 第二级湿地单元对污染物的去除率

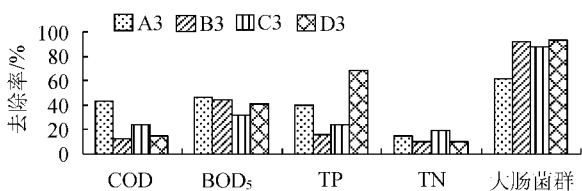


图4 第三级湿地单元对污染物的去除率

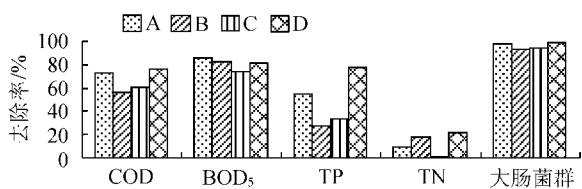


图5 三级串联湿地对污染物的去除率

由图2可知,第一级湿地单元中以种植水生美人蕉的D1地块对COD、BOD₅、TP和TN的去除率最高,平均分别为53.1%、59.9%、20.7%和19.9%;其次为种植再力花的A1地块,对COD、BOD₅及TP的平均去除率分别为38.1%、59.7和7.0%。

由图3可见,第二级湿地单元中以种植再力花的D2地块对COD的去除率最高,平均为47.2%,以种植菖蒲的A2地块去除BOD₅和大肠菌群的效果最佳,平均去除率分别为53.3%和93.5%;以种植风车草的C2地块对TP去除率最高,平均为23.8%。第二级湿地对COD和BOD₅的处理效率明显低于第一级湿地,这与第二级湿地进水(即第一级湿地出水)DO浓度太低有关,而且第二级湿地出水TN浓度均高于进水,这可能是由于沉积的有机氮矿化为无机氮被重新释放的缘故^[11]。

由图4可知,第三级湿地单元中,以种植水生美人蕉的A3地块对COD和BOD₅去除率最高,平均分别为43.5%和46.7%,其对TP、TN和大肠菌群的去除率居第二,平均分别为39.6%、14.7%和92.5%;以种植菖蒲的D3地块对TP和大肠菌群去除率最高,平均分别为67.8%和93.0%;以种植水生美人蕉的C3地块对TN的去除率最高,平均为19.1%。

综合图2~4试验结果可见,在冬季,该人工湿地系统对COD、BOD₅、TP和大肠菌群仍有较好的去除效果,但对TN的去除率很低,这是目前潜流人工

湿地的主要局限性^[12-13]。其中COD和BOD₅的降解主要发生在第一级湿地单元,TP和TN的降解主要发生在第三级湿地单元,这与段志勇等^[14]的研究结果相一致。由此在第一级湿地单元需要大量的溶解氧,所以在第一级湿地单元可以种植根系发达、泌氧能力强的水生植物;而在实验期间水生美人蕉根系最为发达,新生须根多,深入填料约33 cm。因此在第一级湿地单元适宜栽种水生美人蕉。在第三级湿地单元需要创造出缺氧的微环境,有利于反硝化的进行,从而提高TN的去除率;已有研究表明菖蒲能较好地吸收去除污水中的氮磷^[15],且向水体根部供氧能力差^[16];试验中还发现菖蒲生长缓慢,根系不够发达,试验中期深入填料约15 cm,但四季均能生长,且具一定扩张能力,因此在第三级湿地单元适宜栽种菖蒲。

2.2 三级串联湿地系统不同植物配置除污效率比较

三级串联湿地系统A、B、C、D分别由不同植物配置而成,由于不同植物对不同污染物的去除能力不同,搭配栽种可以互补长短,达到更优的处理效果。由图5试验结果可见,第一级、第二级、第三级湿地单元分别种植水生美人蕉、再力花、菖蒲的三级串联湿地系统D对COD、TP、TN及大肠菌群的去除效果均最佳,平均去除率分别达到75.8%、76.9%、22.0%和99.3%,对BOD₅的去除率居第二,平均去除率为80.6%。试验结果说明第一级湿地单元栽种水生美人蕉、第二级湿地单元栽种再力花、第三级湿地单元栽种菖蒲的三级串联植物搭配系统的去污效果较佳。这与2.1中单块湿地除污效果分析一致。

3 结 论

a. 在冬季,人工湿地系统对COD、BOD₅、TP和大肠菌群仍有较好的去除效果,但对TN的去除率较低。COD和BOD₅的降解主要发生在第一级湿地,因此在第一级湿地适宜栽种泌氧能力强的水生美人蕉。TP和TN的降解主要发生在第三级湿地,因此在第三级湿地适宜栽种向水体根部供氧能力差的菖蒲。

b. 在本生产实验条件下,不同植物搭配的三级串联湿地系统中,以第一级湿地单元栽种水生美人蕉、第二级湿地单元栽种再力花、第三级湿地单元栽种菖蒲的植物搭配系统的总体去污效果较佳,此湿地植物配置方式适用于冬季平均气温不低于9℃的华南地区人工湿地工程。

参考文献:

[1] 宋志文,毕学军,曹军. 人工湿地及其在我国小城市污水

处理中的应用[J]. 生态学杂志,2003,22(3):74-78.

[2] 郭飞,李怀正,王晟. 潜流湿地处理旅游区生活污水生产试验:以 COD 为例[J]. 四川环境,2006,25(1):4-7.

[3] 刘纲,陆燕勤,许立巍,等. 接触氧化-人工湿地组合工艺处理桂林市郊村落污水[J]. 桂林工学院学报,2006,26(1):34-36.

[4] 张昱龙,周力. 人工湿地处理城市污水在北方的应用[J]. 环境工程,2005,23(4):23-24.

[5] 宋志文,王仁卿,席俊秀,等. 荣成人工湿地净化效果的季节和年际变化[J]. 农村生态环境,2005,21(4):43-48.

[6] BRIX H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? [J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 11-17.

[7] 成水平,吴振斌,况其军. 人工湿地植物研究[J]. 湖泊科学,2002,14(2):179-182.

[8] 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.

[9] FRASER L H, CARTY S M, STEER D. A test of four plants species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms [J]. Bioresource Technology, 2004, 9(4):185-192.

[10] 国家环境保护总局《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,2002:200-202.

[11] BRASKERUD B C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution[J]. Ecological Engineering, 2002, 18:351-370.

[12] 王爱萍,周琪. 人工湿地处理污水的研究[J]. 四川环境,2005,24(2):76-80.

[13] 王晟,徐祖信,李怀正. 潜流湿地处理不同浓度有机污水的差异分析[J]. 环境科学,2006,27(11):2194-2200.

[14] 段志勇,刘超翔,施汉昌,等. 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(8):4-7.

[15] 李艳红,解庆林,白少元,等. 利用人工湿地系统深度处理城市污水尾水[J]. 环境工程,2006,24(3):86-89.

[16] 王庆安,黄时达. 湿地植物光合作用向水体供氧能力的试验研究[J]. 生态学杂志,2000,19(5):45-51.

(收稿日期 2008-12-31 编辑 徐娟)

(上接第 24 页)

b. 与广东省土壤背景值相比,长州断面底泥中的镉、铬、铜、铅质量比分别为土壤背景值值的 49.50 倍、3.62 倍、14.24 倍、5.51 倍,说明底泥中的镉、铬、铜、铅主要来自于水中镉、铬、铜、铅的沉积。

c. 长州断面底泥中的镉、铬、铜、铅形态分布情况 镉有 47.47% 以可交换态存在,最容易复溶进入水体,铬和铅残渣态所占比例高达 42.35% 和 47.28%,与镉、铜相比,铬和铅在沉积物中相对稳定。

d. 长州断面底泥中的镉潜在生态危害强,而铬、铜、铅的潜在生态危害轻微。

参考文献:

[1] 顾征帆,吴蔚. 太湖底泥中重金属污染现状调查及评价[J]. 甘肃科技,2005(12):21-23.

[2] 徐颖. 苏南地区航道底泥重金属污染评价和处置对策[J]. 环境保护科学,2001(10):33-35.

[3] 牛红义,吴群河,陈新庚. 珠江(广州河段)表层沉积物中重金属的分布特征及相关性研究[J]. 生态环境,2006(5):954-959.

[4] 向勇,缪启龙,丰江帆. 太湖底泥中重金属污染及潜在生态危害评价[J],南京气象学院学报,2006(5):700-705.

[5] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSEON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry,1979,51(7):844-851.

[6] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution

control a sediment logical approach[J]. Water Research,1980, 14(8):975-986.

[7] 滑丽萍,华路,高娟,等. 中国湖泊底泥的重金属污染评价研究[J]. 土壤,2006(4):366-373.

[8] 国家环境保护总局. 全国生态现状调查与评估:中南卷[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006:487.

[9] 刘君峰,宋之光,许涛. 广州地区雨水化学组成与雨水酸度主控因子研究[J]. 环境科学,2006(10):1998-2002.

[10] 刁红丽,刘国光,沈蕴芬,等. 快速 PFU 微型生物群落毒性试验法对铜、铅、砷联合毒性的研究[J]. 环境化学,2003(1):80-84.

[11] 黄向青,梁开,刘雄. 珠江口表层沉积物有害重金属分布及评价[J]. 海洋湖沼通报,2006(3):27-36.

[12] 刘芳文,颜文,王文质,等. 珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 海洋环境科学,2002(3):34-38.

[13] 弓晓峰,陈春丽,周文斌,等. 鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J]. 环境科学,2006,27(4):732-736.

[14] 范文宏,张博,陈静生,等. 锦州湾沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J]. 环境科学学报,2006(6):1000-1005.

[15] 陈静生,邓宝山,陶澍,等. 环境地球化学[M]. 北京:海洋出版社,1990.

(收稿日期 2008-01-30 编辑 徐娟)

