

# 不同湿地植物对扎染废水处理效果的研究

邓靖<sup>1</sup>, 王学刚<sup>2</sup>, 吕锡武<sup>1</sup>

(1. 东南大学 环境科学与工程系, 江苏 南京 210096; 2. 东华理工大学 环境工程系, 江西 抚州 344000)

**摘要:** 分别以芦苇、美人蕉、菖蒲和水芹菜为湿地植物来构建垂直潜流人工湿地系统, 研究其对扎染废水的处理效果。结果表明, 在相同进水浓度下, 芦苇湿地系统的出水 COD 平均浓度最低, 仅为 25.7 mg/L; 美人蕉湿地系统的出水氨氮和 TN 平均浓度最低, 分别为 0.96 和 4.25 mg/L; 水芹菜湿地系统的出水 TP 平均浓度最低, 仅为 0.09 mg/L。综合考虑可知, 芦苇和美人蕉对扎染废水的处理能力较强。4 种植物对扎染废水均具有较好的处理效果, 湿地出水的各项指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。

**关键词:** 垂直潜流人工湿地; 扎染废水; 水生植物

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)07-0086-04

## Treatment of Tie-dyeing Wastewater by Vertical Subsurface-flow Constructed Wetlands with Different Plants

DENG Jing<sup>1</sup>, WANG Xue-gang<sup>2</sup>, LV Xi-wu<sup>1</sup>

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Department of Environmental Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

**Abstract:** Vertical subsurface-flow constructed wetlands with *Phragmites communis*, *Canna generalis*, *Acorus calamus* and *Oenanthe javanica* as vegetation were built to study the treatment effect of tie-dyeing wastewater. The experimental results show that under the same influent conditions, the effluent COD concentration of constructed wetland with *Phragmites communis* is lowest, at 25.7 mg/L; the effluent  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and TN concentrations of constructed wetland with *Canna generalis* are lowest, at 0.96 mg/L and 4.25 mg/L respectively; the effluent TP concentration of constructed wetland with *Oenanthe javanica* is lowest, at 0.09 mg/L. The comprehensive consideration suggests that *Phragmites communis* and *Canna generalis* are more suitable for treatment of tie-dyeing wastewater, while all four plants have excellent treatment effects. The pollutant indexes in the effluent are better than the first level criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002).

**Key words:** vertical subsurface-flow constructed wetland; tie-dyeing wastewater; aquatic plants

人工湿地是 20 世纪 70 年代兴起的污水处理工艺,主要是利用湿地中基质、湿地植物和微生物之间的相互作用,通过一系列物理、化学及生物途径来处理污(废)水<sup>[1]</sup>,具有建造及运行费用低、维护简单、处理效果好、适用面广、对负荷变化的适应能力强等优点<sup>[1]</sup>。在我国,由于中小城镇众多、人口密集、资金及技术有限,发展大型污水处理厂有很大困难,故人工湿地技术在我国有着广阔的应用前景。

人工湿地中的植物跟其他所有光合自养有机体一样,能利用太阳能从空气中吸收无机物来合成有机物,为异养微生物提供能量,同时还具有分解和转化有机物及其他物质的能力<sup>[1]</sup>。此外,湿地植物使湿地床表面更加稳固,提供了良好的物理过滤条件,防止冬季湿地表面冻结,同时还为微生物生长提供了巨大的表面支撑,通过光合作用和根系的渗透作用将氧传输到根圈基质<sup>[1]</sup>。

笔者分别以芦苇、美人蕉、菖蒲和水芹菜为湿地植物来构建垂直潜流人工湿地中试系统,研究其对各污染物的去除效果及对扎染废水的适应性。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 工艺流程

以大理州巍山县兴巍民族工艺厂的扎染废水为原水,考虑到该废水中氮、磷浓度偏低,为了提高生物处理效果,将扎染厂厕所和食堂的污水引入水解调节池与扎染废水充分混合。所排废水主要为黑色、蓝色或棕色,具有有机物浓度高、色度大、难降解等特点。试验流程见图 1。



图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

### 1.2 试验装置

试验在大理州巍山县兴巍民族工艺厂内进行。垂直潜流人工湿地由砖和水泥砌成,用隔墙分为 4 格,从南至北依次种植芦苇、水芹菜、菖蒲和美人蕉,种植密度均为 9 株/m<sup>2</sup>。每块湿地的平面尺寸均为 3 m×12 m,有效高度为 1 m,池底坡度为 2.5%。

人工湿地内的基质分为 4 层:第一层为表层,填充 100 mm 厚、粒径为 8~16 mm 的砾石,其作用是防止砂层表面冲蚀;第二层为过滤层,填充 500 mm

厚、粒径为 0.2~6 mm 的无泥粗砂,其作用是进行生化处理;第三层为过渡层,填充 100 mm 厚、粒径为 4~8 mm 的砾石,其作用是防止上层砂粒堵塞下排水层;第四层为排水层,填充 300 mm 厚、粒径为 8~16 mm 的砾石,其作用是汇集并排出已处理的废水。湿地底部铺 0.5 mm 的 PE 膜双面土工布,防止废水渗透地下。人工湿地构造见图 2。

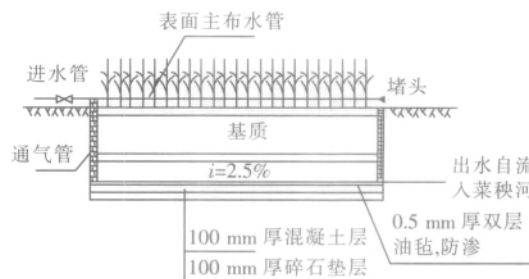


图 2 垂直潜流人工湿地示意

Fig. 2 Schematic diagram of vertical subsurface-flow constructed wetlands

### 1.3 原水水质

以跌水接触氧化池出水为原水,水质见表 1。

表 1 原水水质

Tab. 1 Quality of raw wastewater

| 项目 | pH            | COD/<br>(mg·<br>L <sup>-1</sup> ) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/<br>(mg·<br>L <sup>-1</sup> ) | TN/<br>(mg·<br>L <sup>-1</sup> ) | TP/<br>(mg·<br>L <sup>-1</sup> ) |
|----|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 范围 | 6.94~<br>7.52 | 27.1~<br>116.4                    | 2.36~<br>7.74                                                 | 6.2~<br>12.05                    | 0.41~<br>0.72                    |

### 1.4 检测方法

检测方法见表 2。

表 2 检测项目及方法

Tab. 2 Test indexes and methods

| 项 目                             | 测试方法                | 仪 器            |
|---------------------------------|---------------------|----------------|
| pH                              | pH 计                | PHS-4 型智能酸度计   |
| COD                             | 重铬酸钾法/<br>快速催化氧化法   | HH-6 型 COD 测定仪 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 纳氏试剂光度法             | 723 型分光光度计     |
| TN                              | 过硫酸钾氧化—<br>紫外分光光度法  | 752 型紫外分光光度计   |
| TP                              | 过硫酸钾消解—<br>钼锑抗分光光度法 | 723 型分光光度计     |

## 2 结果与分析

### 2.1 对 COD 的去除效果

4 种不同植物的垂直潜流人工湿地系统对 COD 的去除效果见图 3。

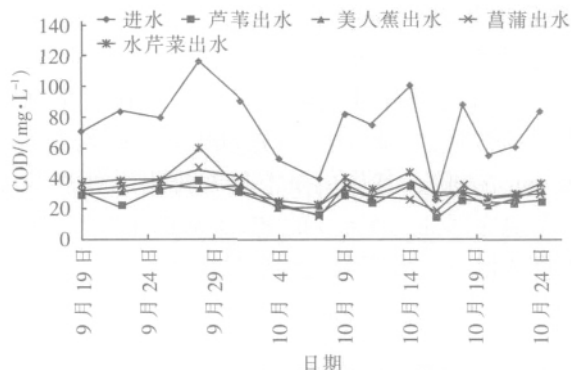


图3 4种不同植物湿地对COD的去除效果

Fig.3 COD removal effect in vertical subsurface-flow constructed wetlands

从图3可知,在进水COD浓度相同的情况下,芦苇人工湿地的出水COD平均浓度最低,仅为25.7 mg/L;水芹菜人工湿地的出水COD平均浓度最高,达到34.3 mg/L。从对COD的去除率来看,4种不同人工湿地系统对COD的去除效果差别较大,美人蕉和菖蒲系统对COD的平均去除率相近,分别为56.26%和57.08%,芦苇系统对COD的平均去除率为63.45%,水芹菜系统对COD的平均去除率为50.36%。不同植物垂直潜流人工湿地的出水COD浓度曲线的形状基本与进水的保持一致,去除率也相对稳定,没有出现较大起伏。

10月16日美人蕉和水芹菜人工湿地系统均出现了出水COD浓度高于进水的现象,原因可能是取样当天进水COD浓度偏低,前一天吸附在植物根系和土壤表层的有机物随水流重新释放而进入水体。

## 2.2 对氨氮的去除效果

4种不同植物的垂直潜流人工湿地系统对氨氮的去除效果表明,在进水氨氮浓度相同的情况下,美人蕉人工湿地的出水氨氮平均浓度最低,仅为0.96 mg/L;水芹菜人工湿地的出水氨氮平均浓度最高,达到1.5 mg/L。从对氨氮的去除率来看,4种不同植物人工湿地系统对氨氮的去除效果差别较大,芦苇和菖蒲系统对氨氮的平均去除率相近,分别为74.73%和74.5%,美人蕉系统对氨氮的平均去除率为79.39%,水芹菜系统对氨氮的平均去除率为68.9%,这可能是由于美人蕉生长对氮元素的需求量较大所致。4种人工湿地的出水氨氮浓度都较低,且比较稳定,表现出较好的去除氨氮效果。

## 2.3 对TN的去除效果

4种不同植物的垂直潜流人工湿地系统对TN

的去除效果见图4。

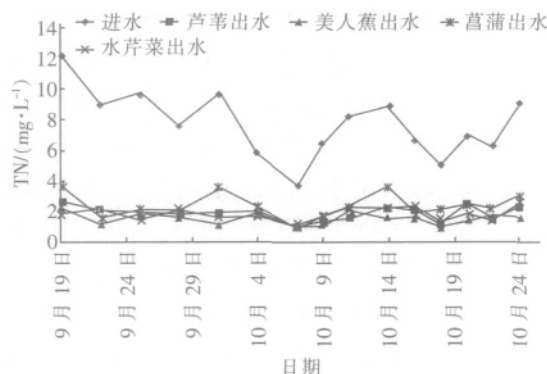


图4 4种不同植物湿地对TN的去除效果

Fig.4 TN removal effect in vertical subsurface-flow constructed wetlands

从图4可知,在进水TN浓度相同的情况下,美人蕉人工湿地的出水TN平均浓度最低,仅为4.25 mg/L;菖蒲人工湿地的出水TN平均浓度最高,达到5.3 mg/L。从对TN的去除率来看,4种不同的人工湿地系统对TN的去除效果差别较大,其中美人蕉和水芹菜湿地系统对TN的去除效果较好,去除率均达到47%以上,芦苇系统对TN的平均去除率为41.27%,而菖蒲系统对TN的去除效果相对较差,去除率仅为37.97%。

人工湿地系统对氮的去除主要是通过水生植物吸收、微生物的硝化和反硝化以及氮的挥发等途径实现的<sup>[1]</sup>。这三个重要过程一般可同时发生在人工湿地中,但发生程度有所不同。微生物的硝化和反硝化作用是人工湿地系统最有效的脱氮途径,这一过程一般发生在处于厌氧或缺氧条件下的腐质层和湿地土壤中。由于美人蕉的根系较发达,能够在湿地土壤中形成好氧/缺氧/厌氧的微环境,从而更加利于除氮。

## 2.4 对TP的去除效果

4种不同植物的垂直潜流人工湿地系统对TP的去除效果表明,在进水TP浓度相同的情况下,水芹菜人工湿地的出水TP平均浓度最低,仅为0.09 mg/L;菖蒲人工湿地的出水TP平均浓度最高,达到0.15 mg/L。

从对TP的去除率来看,4种不同人工湿地系统对TP的去除效果差别较大,芦苇和美人蕉系统对TP的平均去除率相近,分别为77.09%和77.25%,水芹菜系统对TP的平均去除率为82.44%,菖蒲系统对TP的平均去除率为72.74%。由于4种植物

种植在相同基质中,而水芹菜对 TP 的去除效果较好,这可能是因为它对磷的吸收较其他 3 种植物多的缘故。

人工湿地对磷的去除主要是以基质的吸附作用为主,但植物在湿地除磷中也有重要作用。虽然湿地植物本身的摄磷量有限,但其根系及其附近微生物的降解、吸收作用可大大增强湿地基质的拦截吸收功能,整体上改善了对磷的去除效果<sup>[1]</sup>。有研究表明,不同的植物根系环境和基质组合会产生不同的除磷效果<sup>[1]</sup>。

### 3 结论

① 在相同的进水浓度下,芦苇湿地系统的出水 COD 平均浓度最低,仅为 25.7 mg/L;美人蕉湿地系统的出水氨氮和 TN 平均浓度最低,分别为 0.96 和 4.25 mg/L;水芹菜湿地系统的出水 TP 平均浓度最低,仅为 0.09 mg/L。综合考虑可知,芦苇和美人蕉对扎染废水的处理能力较强。

② 在试验的进水浓度范围内,芦苇、美人蕉、菖蒲和水芹菜均生长旺盛,具有较强的除污能力,湿地出水的各项指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。

(上接第 85 页)

船油污废水是可行的。当进水盐浓度为 25 g/L、COD 为 550~600 mg/L、油类为 25~30 mg/L、水温为 25~30℃、HRT 为 18 h 时,系统对 COD 和油类的去除率分别可达 93% 和 96%,出水 COD 和油类浓度均达到了排放要求。

② 水解酸化工艺可有效提高废水的可生化性,水解酸化池的最佳 HRT 为 10 h,此时对 COD 的去除率为 56.8%,水解酸化出水的 BOD<sub>5</sub>/COD 值达到了 0.29。

③ 水温降低会使系统的处理效果下降,但通过延长水力停留时间可弥补由于水温降低造成的不利影响;进水盐度的突变会对系统造成冲击,但系统的适应能力较强,低盐度冲击对系统处理效果的影

### 参考文献:

- [1] 张勤,周兴伟,周健. 强化生物絮凝/三级人工湿地处理高浓度生活污水 [J]. 中国给水排水,2009,25(1): 1-4.
- [2] Kivaisi A K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review [J]. Ecol Eng,2001,16(4): 545-560.
- [3] 曹向东,王宝贞,蓝云兰,等. 强化塘-人工湿地复合床生态系统氮和磷的去除规律 [J]. 环境科学研究,2000,13(2): 15-19.
- [4] 籍国东,倪晋仁. 人工湿地废水生态处理系统的作用机制 [J]. 环境污染治理技术与设备,2004,5(6): 71-75.
- [5] 帖靖玺,钟云,郑正,等. 二级串联人工湿地处理农村污水的脱氮除磷研究 [J]. 中国给水排水,2007,23(1): 88-91,96.
- [6] 雒维国,王世和,钱卫一,等. 潜流型人工湿地除磷效果研究 [J]. 安全与环境工程,2004,11(4): 21-25.
- [7] 王全金,李丽,李忠卫. 四种植物潜流人工湿地脱氮除磷的研究 [J]. 环境污染与防治,2008,30(2): 33-36.

E-mail: seudjing@163.com

收稿日期: 2009-10-11

响比高盐度冲击的要小。

### 参考文献:

- [1] 何强,龙腾锐,林刚. 好氧预膜加速厌氧生物膜反应器启动的试验研究 [J]. 给水排水,2001,27(5): 27-29.
- [2] 国家环境保护总局. 水与废水监测分析方法(第4版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社,2002.
- [3] 张自杰. 废水处理理论与设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 周群英,高廷耀. 环境工程微生物学(第2版) [M]. 北京: 高等教育出版社,2000.

E-mail: hfm7608@sina.com

收稿日期: 2009-10-12