

水平流 – 垂直流复合人工湿地系统对污水的净化效果研究

刘 雯, 崔理华, 朱夕珍, 罗 莉, 黄婉娟, 钟德海

(华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘 要: 采用人工处理池, 将水平流与垂直流湿地系统组合成复合式人工湿地处理系统, 研究了此系统在停留时间为 5 d 时对城市污水的净化效果。结果表明, 水平流 – 垂直流复合人工湿地系统处理效果相当稳定, 其对化粪池出水中 COD, BOD₅, TP, TN, SS 的平均去除率分别为 72%, 80%, 83%, 33% 和 60% 以上。而种植系统去除效果明显高于无种植系统。

关键词: 水平流; 垂直流; 人工湿地; 净化效果; 复合系统; 化粪池出水

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)03 – 0604 – 03

Purification Efficiency of Wastewater by Constructed Wetland Treatment Systems Based on the Combination of Horizontal – flow and Vertical – flow

LIU Wen, CUI Li-hua, ZHU Xi-zhen, LUO Li, HUANG Wan-juan, ZHONG De-hai

(College of Natural Resource and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The integrated wetland systems were constructed by combining horizontal – flow and vertical – flow bed, and their purification efficiencies for septic tank effluent were detected when the hydraulic retention time (HRT) was five days. The results showed that horizontal – flow and vertical – flow beds had very stable effects on the removal of COD, BOD₅, TP, TN and SS. The average removal rates of COD, BOD₅, TP, TN and SS were over 72%, 80%, 83%, 33% and 60%, respectively, and the removal effects of plant – systems were greater than that of the control (no plant growing system).

Keywords: horizontal – flow; vertical – flow; constructed wetland; purification efficiency; integrated systems; septic tank effluent

人工湿地可分为表面流湿地、地下潜流湿地和垂直流湿地 3 种类型^[1]。因为其具有出水水质好、运行管理方便、投资及运行费用低等优点, 所以比较适合于管理水平不很高、水处理量及水质变化不很大的城郊或乡村应用^[2, 3]。近几十年来, 国内外对水平潜流人工湿地系统及垂直流人工湿地系统的研究比较多, 但有关水平流 – 垂直流复合人工湿地的研究报道较少。本实验将水平潜流人工湿地与下行流人工湿地组合起来, 研究此复合系统对 TN, TP, SS, COD, BOD₅ 的去除效果。

收稿日期: 2003 – 09 – 14

基金项目: 广东省重点计划项目(2km06503s); 广州市环保局项目(2000 – 008); 广东省自然科学基金项目(990721)

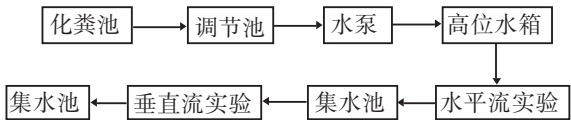
作者简介: 刘 雯(1977—), 女, 湖北人, 硕士研究生, 从事水污染控制方面的研究。

联 系 人: 崔理华

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验流程图



1.1.2 湿地结构

本试验采用 6 个处理池, 其中 3 个池为 2 m × 1 m × 0.8 m 水平潜流湿地, 另外 3 个处理池为 1 m × 1 m × 1.2 m 的下行垂直流湿地, 两组串联起来组成复合式人工湿地系统。其中水平流湿地采用大理石、砂、碎石作为填料, 而垂直流湿地采用碎石、工业废渣及其人工混合基质为填料, 并在两套系统上分别种植不同的植物, 其中水平流 HF1 上种风车草 (cyperus al-

ternifolius), HF2 上种水葱 (*schoenoplectus lacustris*), HF3 为未种任何植物的对照;而垂直流系统 VF1 上种荳花, VF2 上种美人蕉 (*canna glauca*), 另外 VF3 设为对照 (其中将 HF1 + VF1 组合为系统 1, HF2 + VF2 组合为系统 2, 系统 3 为 HF3 + VF3)。

1.2 供试污水特性

供试城市污水取自华南农业大学五号楼公厕三级化粪池出水,其水质状况如表 1 所示。

表 1 供试污水水质状况 (mg · L⁻¹)
Table 1 Characteristic of sewage used for the experiment (mg · L⁻¹)

COD _{Cr}	BOD ₅	TN	TP	pH	SS
92 ~ 477	63 ~ 146	52 ~ 192	8 ~ 49	6 ~ 8	65 ~ 123

1.3 实验测试方法

COD 用重铬酸钾法, BOD₅ 用五日培养碘量法, NH₄⁺ - N 用半微量凯氏蒸馏酸滴定法, TN 用过硫酸钾氧化 - 紫外分光光度法, TP 用过硫酸钾氧化 - 钼蓝比色法。悬浮物(SS)用石棉膜过滤烘干重量法。

2 结果与分析

2.1 对 COD, BOD₅ 及 SS 的去除效果

COD 是反映水体中还原物质污染程度的综合性指标,常用来指示水体中有机物的含量。由表 2、表 3 及表 4 可以看出,复合人工湿地系统对污水中 COD、BOD₅ 都有较好的去除效果,最终去除率分别达到 83% 和 88% 以上,出水中 COD 平均浓度在 20.65 mg · L⁻¹ 左右,基本上达到了国家地面水环境质量标准Ⅳ类水标准(GB3838—88)。而种植系统 COD 去除率要高于无种植的对照,其中系统 2 又要好于系统 1。BOD₅ 浓度在 3.87 ~ 10.09 mg · L⁻¹ 之间,基本上达到了Ⅴ类水标准,有些甚至达到了Ⅲ类水标准。而最终出水中 SS 的浓度还要高于第一阶段(水平流系统)出水中 SS 的浓度,这可能是由于垂直流系统运行时间短,系统中的工业废渣及其混合基质中细小土壤颗粒随出水流出所致。

表 2 系统对 COD 的去除效果 (mg · L⁻¹)
Table 2 Average removals of COD in the systems (mg · L⁻¹)

系统	样本数	平均值	标准差	去除率/%
HF1	7	53.20	20.72	71.73
HF2	7	42.87	16.31	76.24
HF3	7	65.03	25.40	58.17
VF1	7	20.65	8.51	87.66
VF2	7	19.43	6.92	88.35
VF3	7	28.49	9.13	83.82
污水	7	198.41	116.33	—

表 3 系统对 BOD₅ 的去除效果 (mg · L⁻¹)
Table 3 Average removal of BOD₅ in the systems (mg · L⁻¹)

系统	样本数	平均值	标准差	去除率/%
HF1	7	17.32	10.92	77.30
HF2	7	19.34	9.6	74.90
HF3	7	22.3	10.07	70.60
VF1	7	7.7	7	90.29
VF2	7	5.82	3.87	92.14
VF3	7	10.09	10.08	88.12
污水	7	80.97	41.64	—

表 4 对 SS 的去除效果 (mg · L⁻¹)
Table 4 Average removals of SS in the systems (mg · L⁻¹)

系统	样本数	平均值	标准差	去除率/%
HF1	7	7.14	2.89	74.14
HF2	7	7.29	3.04	76.01
HF3	7	7.14	2.46	72.77
VF1	7	13.67	7.34	60.20
VF2	7	13.53	7.28	64.78
VF3	7	9.93	6.72	66.43
污水	7	31.69	9.16	—

2.2 对 TP 的去除效果

人工湿地系统 TP 的去除作用主要包括填料的物理作用、化学作用和微生物的同化作用以及植物的摄取作用^[4]。从图 1 可知,各系统出水的 TP 均低于进水,说明系统对 TP 具有去除作用。试验过程中,系统 1(HF1 + VF1)种植了风车草和荳花,系统 2(HF2 + VF2)种植了水葱和美人蕉,而系统 3 为没种任何植物的对照,所测得总磷的平均去除率如表 5 所示。可以看出,种植风车草和荳花的系统总磷去除率均比没种植物的高,增加幅度为 1.41%;种植水葱和美人蕉的系统也比没种植物的对照高,增加幅度为 3.56%。由表 5 还可知,在相同的水力停留时间下(5 d),HF1 - VF1、HF2 - VF2、HF3 - VF3 三个系统对 TP 的平均去除率高于 83% (如表 5),而系统 HF1 - VF1、HF2 - VF2 的去除率均达到了 90% 以上,说明在相同

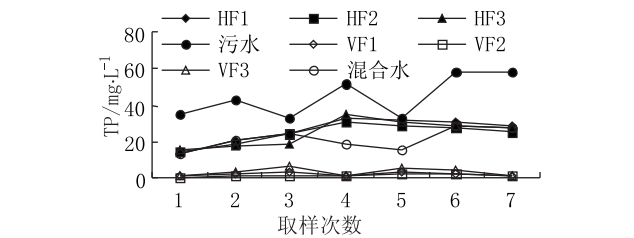


图 1 不同系统进出水 TP 浓度的变化
Figure 1 Changes of TP concentration of influent and effluent in different systems

的水力停留时间、相同的填料条件下种植系统 TP 去除效果要好于无种植的系统,而种水葱和美人蕉的复合系统对 TP 的去除效果又好于种风车草和荇花的系统,但差异不是很显著 ($P>0.05$)。这可能与植物刚种植不久,各种植物在系统中对 P 的摄取作用还没有充分发挥出来有关。

2.3 对 TN 的去除效果

水中 TN 主要包括硝态氮、氨态氮及有机氮 3 种形式,而以氨态氮为主。氮的去除主要是通过微生物的硝化、反硝化作用来完成。从图 2 可以看出处理出水浓度中 TN 均低于进水,这说明各系统对 TN 具有一定的去除作用,但去除效果不是很好,只有 40% 左右(见表 5)。而第二阶段的系统(即垂直流系统)的平均去除率在第一阶段(即水平流系统)的基础上只是提高了 10% 左右(如表 5),这说明垂直流湿地系统中主要以硝化作用为主,而硝化作用只是改变氮的形式(将 NH_4^+-N 转化为 NO_3^--N 和 NO_2^--N) ,反硝化作用才可以使氮以 N_2 和 N_2O 形式从湿地系统中根本去除^[1]。所以 TN 的去除效果不是很明显。在后期实验中我们把垂直流床硝化水回流,进行一次反硝化处理,TN 的去除率有望得到提高(数据在整理中)。

3 结论

- (1) 水平流-垂直流复合人工湿地系统对水中 COD、BOD₅ 及 SS 等具有较好的去除效果,除 SS 外,净化效果均比单一的湿地系统净化效果要好(在系统运行初期 COD 和 BOD₅ 就比单一的水平流及单一的垂直流系统去除率分别提高了 30% 及 10% 左右)。
- (2) 水平流-垂直流复合系统在停留时间为 5 d 时对 P 的去除效果比较好,种植系统平均去除率甚至

表 5 人工湿地系统各阶段对污水中 N、P 的净化效果(%)

Table 5 Removal efficiencies of N and P at different stage (%)

系统	HF1	HF2	HF3	VF1	VF2	VF3
TN	29.52	26.01	22.68	34.60	38.31	33.76
TP	35.93	37.65	33.68	95.01	97.16	93.60

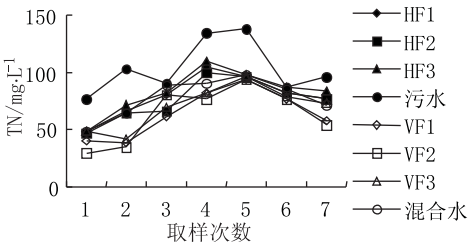


图 2 不同系统进出水 TN 浓度的变化

Figure 2 Changes of TN concentration of influent and effluent in different systems

可以达到 93% 以上,而无种植系统也可达到 83% 以上。比单一的垂直流或单一的水平流湿地系统去除率提高了 35% 左右。

(3) 复合系统中水平流湿地阶段对 TN 的去除效果比较好,说明反硝化对 N 的去除起到了一定的作用,而垂直流湿地阶段因为硝化作用较强,对 TN 的去除效果有一定的影响。

参考文献:

[1] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学,1995,16(3): 83-86.

[2] 沈耀良,王宝贞. 人工湿地污水处理技术[J]. 废水生物处理新技术理论与应用,1996,(6): 265-267.

[3] Verhoeven J A, Meuleman and A F M. Wetlands for wastewater treatment: opportunities and limitations[J]. Ecological Engineering, 1999, 12: 5-12.