

利用地表漫流系统处理新沂河污水的试验研究

张旭东^{1 3} 阮晓红^{2 3} 孙 敏³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 ;
2. 教育部浅水湖泊综合治理与资源开发重点实验室, 江苏 南京 210098 ;
3. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 通过中试试验, 研究地表漫流系统中马尼拉、水香蒲、春兰、早熟禾等 4 种植物对新沂河污水中 COD_{Mn}、氨氮、色度 3 个指标的去除效果. 试验结果表明: 4 种植物中, 早熟禾对污染物的去除效果最佳, COD_{Mn}、氨氮、色度去除率分别达到 55%、89.2%、51.2%; 在考察的 3 个指标中, 地表漫流系统对氨氮的去除率最高, 4 种植物对其去除率分别达到 78.8%、79%、67.6%、89.2%.

关键词 新沂河; 水污染; 地表漫流系统; 土地处理; 去除率

中图分类号 X522 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2005)03-0273-04

20 世纪 70 年代以来, 土地处理系统在美、日等国家得到了广泛的研究和应用, 包括污染物去除机理的研究和设计标准的制定. 我国于 20 世纪 80 年代初开始学习国外先进的土地处理技术, “七五”期间将其列为国家科技攻关课题. 20 世纪 90 年代以来, 我国政府环境保护部门提出了“人工处理与自然处理并行”的水污染防治技术政策, 为土地处理技术的发展提供了契机. “八五”以来土地处理技术得到了快速的发展^[1], 人工湿地和快速渗滤系统是目前研究的热点, 但地表漫流系统的研究不多.

地表漫流处理系统是土地处理系统的一种类型, 它是将污水有控制地投配到生长多年生牧草、坡度和缓、土地渗透性低的坡面上, 使污水在地表沿坡面缓慢流动过程中得以净化的一种污水处理工艺类型^[2]. 地表漫流处理系统对预处理的要求低, 不受地下水埋深的限制, 对地下水的影响小^[2,3], 其水力负荷高于大多数的慢速渗滤系统, 投资效益通常大于慢速渗滤系统^[4]. 植物是地表漫流系统中重要的组成部分, 为微生物提供附着场所, 减缓污水沿地表流动的速度, 保护地表面不受水流冲刷, 同时有利于水中悬浮物的沉淀, 作物还能吸收氮、磷等营养物质. 本文利用地表漫流系统对排污河道的污染河水进行处理, 比较分析了 4 种植物对 3 种污染因子的净化效果及其影响因素.

1 中试试验设计

1.1 自然状况

新沂河属于淮河流域沂沭泗水系, 位于江苏北部, 北纬约 34°, 流经新沂、沐阳、灌云和灌南等县, 属暖温带季风气候, 年平均温度 13.6℃, 1 月份平均气温为 -1℃. 该地区气候四季分明, 温度适宜, 光照充足, 雨量适中, 适合多种水生植物生长.

新沂河为苏北地区的一条排污专道, 同时也是淮河流域的季节性行洪河道, 在枯水期和行洪期, 其水量和水质变化较大. 污染来源以工业污染为主, 其次有部分生活污染. 河水水质见表 1.

表 1 2002 年 3 月至 2003 年 5 月试验河段河水水质

Table 1 Water quality of studied river reach(Mar. 2002—May 2003)						
监测数值和 标准限值	pH 值	$\rho(\text{DO})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{BOD}_5)$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
变化范围	7.8	0.5 ~ 12.7	1.8 ~ 38.7	5.1 ~ 58.0	19.8 ~ 182	0.16 ~ 12.8
平均值	7.8	7.6	12.9	22.9	65.3	4.63
V 类水质量标准限值	6 ~ 9	≥ 2	≤ 10	≤ 15	≤ 40	≤ 2.0

收稿日期: 2004-07-10
基金项目: 国家“十五”重大科技专项基金资助项目(2003AA601070); 江苏省环境保护厅科技计划资助项目(2002010)
作者简介: 张旭东(1974—), 男, 江苏沛县人, 硕士研究生, 主要从事污水生物处理研究.

从表1可以看出,超标因子是 BOD_5 、 COD_{Mn} 、 COD_{Cr} 和 NH_3-N ,为劣Ⅴ类水.在本文所分析的 COD_{Mn} 、 NH_3-N 和色度的去除效果的各项指标中,色度用分光光度法^[5], COD_{Mn} 和 NH_3-N 按《水和废水监测分析方法》^[6]测定.

1.2 试验设计

中试试验基地位于新沂河沭阳大桥附近,地表漫流系统由4块 $10\text{ m}\times 60\text{ m}$ 的土地组成,4块处理场地相邻,场地之间砌有隔水墙.表层土壤经过充分混合,理化性质相同,土壤渗透系数 $K=0.46\text{ cm/h}$.污水经提升泵提升进入配水池后,通过闸阀和流量计控制进入系统.系统采用平顶堰表面布水方式.通过选择植物种类的小试试验,4个系统选种耐水、耐污、生长期长和适应当地气候条件的植物,它们为:马尼拉、水香蒲、春兰和早熟禾.

系统的主要设计参数为:水力负荷率 $L_w=4.0\text{ cm/d}$;投配率 $q=0.2\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$;投配频率 $d=7\text{ d/周}$;投配时间 $P=12\text{ h/d}$;地形坡度 $i=2\%$;坡面长度 $Z=60\text{ m}$.

2 结果分析与讨论

2002年11月种植植物,经过7个月的生长和适应,2003年6月试验正式进行.由于植物生长特性不同,试验时,马尼拉和早熟禾生长稠密,覆盖率为90%左右;水香蒲和春兰的覆盖率约70%.本文所分析的数据为2003年6月和2004年4~5月的试验结果,这时当地平均气温在 20°C 以上.

2.1 4种植物对 COD_{Mn} 的去除效果分析

地表漫流系统去除有机物主要通过过滤、吸附、沉淀和生物降解.当污水以薄层流经坡面时,污水中的细粒状物质沉淀下来,而地表土壤中微生物及其所形成的生物膜对有机物的去除起首要作用.4种植物对 COD_{Mn} 的去除效果见图1.从图1可以看出:

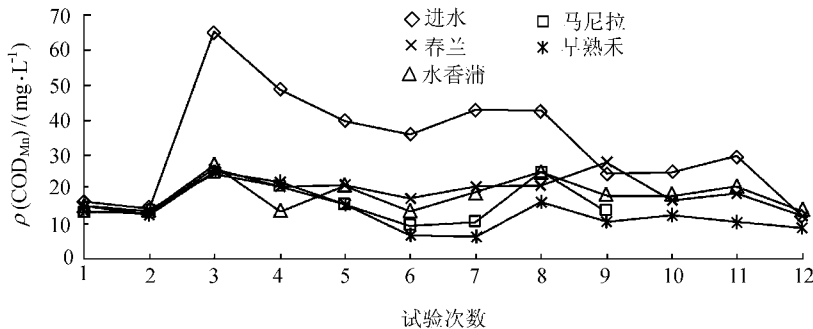


图1 4种植物对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig.1 Removal efficiency of COD_{Mn} by four studied plants

a. 地表漫流系统对 COD_{Mn} 高的污水,其去除效果较好.试验数据表明,当进水浓度在 30 mg/L 以下时,早熟禾的平均去除率为36%;当进水浓度在 $40\sim 65\text{ mg/L}$ 时,去除率达67%.

b. 4种植物对 COD_{Mn} 去除效果由好到差依次为:早熟禾、马尼拉、春兰、水香蒲.早熟禾去除率约为57%,平均出水浓度维持在 13 mg/L 左右,另外3种植物的平均出水浓度在 20 mg/L 左右.

c. 进水和出水浓度具有一致性,但出水浓度相对稳定,说明地表漫流系统抗有机负荷冲击能力较强.

据国家“七五”科技攻关项目——高浓度有机废水地表漫流处理田间扩大试验研究,场地种植稠密的高羊茅草、苇状草芦和黑麦草,在高水力负荷(6 cm/d)情况下,进水 $\rho(BOD_5)=1\,000\text{ mg/L}$, $\rho(COD_{Cr})=2\,000\text{ mg/L}$ 时,出水的 $\rho(BOD_5)$ 和 $\rho(COD_{Cr})$ 分别小于 30 mg/L 和 100 mg/L ^[7], COD_{Cr} 的去除率达95%.该试验中,效果最好的早熟禾去除率只有57%.去除率低的主要原因是:(a)试验期间 COD_{Mn} 的平均进水浓度低,为 32.9 mg/L ,而由于植物-微生物系统的存在,落叶等动植物残渣会释放出一定量的有机物,出水中存在最低可达到的 COD_{Mn} 浓度.如果提高进水的 COD_{Mn} 浓度,就会相应地提高去除率.从中可以看出地表漫流系统处理高 COD_{Mn} 负荷的污水,具有较好的经济效益.(b)水香蒲、春兰较稀疏,对污水的滞留作用弱,污水的流速快,停留时间较短,这样不利于颗粒状的有机物沉淀,地表的生物膜对溶解性有机物的生物氧化也不充分.可见植物密度对污水的处理效果有很大的影响.(c)进水中 $\rho(BOD_5)/\rho(COD_{Cr})=0.19<0.3$,说明污水中不易生物降解的有机物含量很高,这样也很难达到很高的去除效率.

2.2 4 种植物对 NH₃-N 的去除效果分析

污水中的氮主要通过挥发、作物吸收、土壤黏土矿物吸收和微生物的硝化和反硝化作用被去除,最近发现的异氧硝化^[8]、好氧反硝化^[9]和厌氧氨氧化(以亚硝酸盐为电子受体在厌氧条件下氧化 NH₃-N^[10])也可能是其去除机制.在保证 BOD₅ 去除效果的污水投配率范围内,氮的去除率约为 70%,该去除量中约有 20% 的氮的去除归因于作物的吸收,约有 10% 归因于氮的挥发,其余的则是归因于硝化-反硝化过程^[4].土壤的微生物能将黏土吸附的 NH₄⁺ 氧化成 NO₃⁻,从而使土壤的吸附能力得到恢复.硝态氮可以被植物吸收,或者在土壤厌氧层经反硝化作用转化为 N₂ 进入空气之中.4 种植物对 NH₃-N 的去除效果见图 2.由图 2 可以看出:

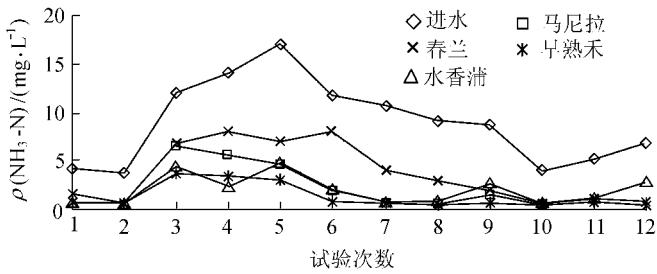


图 2 4 种植物对 NH₃-N 的去除曲线

Fig.2 Curve of NH₃-N removal by four studied plants

a. 4 种植物去除效果由好到差依次为早熟禾、水香蒲、马尼拉、春兰.早熟禾对 NH₃-N 的去除效果最好,去除率达 89%;马尼拉、水香蒲对 NH₃-N 的去除率都接近 80%;春兰最低,为 67.6%.由监测可知,试验中进出水的 pH 值约为 7,硝酸盐氮的含量约为 2 mg/L,游离 NH₃ 的含量很少,说明 NH₃-N 的挥发很少,主要是通过硝化和反硝化作用去除的.地表漫流系统对 NH₃-N 具有较高的去除率,这是因为系统干湿交替的运行方式,形成厌氧和好氧的环境,有利于硝化和反硝化作用的进行.

b. 进水和出水浓度表现出一定的一致性,进水浓度高,出水浓度也相应偏高.总体来说,NH₃-N 的出水浓度稳定在 2 mg/L 以下,说明地表漫流系统具有一定的抗 NH₃-N 负荷冲击能力.

2.3 4 种植物对色度的去除效果分析

色度是由水中的溶解质、胶体和不溶性的悬浮物产生的颜色,对于颜色较深的工业废水,色度主要是由胶体和悬浮物造成.色度是常规净水工艺系统较难降低的指标.新沂河主要受工业废水的污染,河水呈灰褐色,严重影响感官,所以试验把色度的去除作为系统运行的一个重要目标.

地表漫流对色度的去除机理,国内外研究的不多.肖羽堂等^[11]在研究生物预处理去除色度时认为:生物预处理净水工艺对色度的去除主要是通过除去构成色度有机物来实现,处理过程包括生物降解作用、生物膜的吸附作用、生物絮凝作用和沉淀作用.地表漫流系统对色度的去除可能也是通过去除构成色度的有机物来实现.4 种植物对色度的去除效果见图 3.由图 3 可以看出:

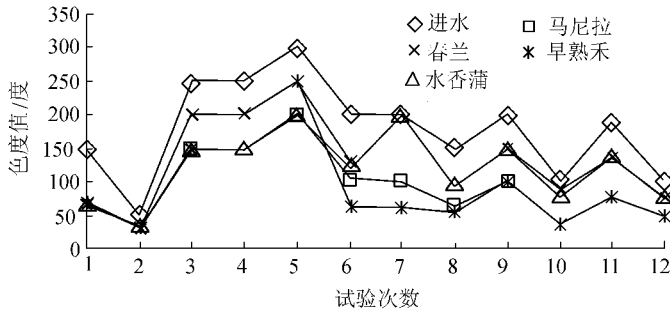


图 3 4 种植物对色度的去除曲线

Fig.3 Curve of chroma removal by four studied plants

a. 4 种植物对色度的去除率较低,去除效果由好到差依次为早熟禾、马尼拉、水香蒲、春兰.去除效果最好的早熟禾平均去除率为 52.1%.色度去除效率低和污水中有机物的去除效率低有直接的关系.同时,由于表面布水不均匀,径流的流速过快,使水中的悬浮物不能够沉淀下来,也会影响色度的去除.这说明植物的密

度对色度的去除效果有一定的影响.

b. 出水浓度随进水浓度变化而变化,出水不稳定,说明地表漫流系统抵抗色度负荷冲击能力较差.

参考文献:

- [1] 贾宏宇,孙铁珩,李培军,等. 污土地处理技术研究的最新进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 2(1): 62—67.
- [2] 高拯民,李宪法. 城市污土地处理利用设计手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 1991. 20—223.
- [3] 孙铁珩. 污水生态处理技术体系及发展趋势[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 1—2.
- [4] 里德 S C, 克赖茨 R W. 工业和城镇污土地处理系统手册[M]. 杨景辉译. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 12—266.
- [5] 陈长太. 人工湿地处理污染河水试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [6] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 224—281.
- [7] 国家环境保护总局. 城市污土地处理系统研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 38—39.
- [8] ROBERTSON L A, KUENEN J G. Combined heterotrophic nitrification and aerobic denitrification in *Thiosphaera pantotropha* and other bacteria[J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1990, 57(3): 139—152.
- [9] ROBERTSON L A, CORNELISSE R, De Vos P, et al. Aerobic denitrification in various heterotrophic nitrifiers[J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1989, 56(4): 289—299.
- [10] JETTEN MSM, STROUS M, Van de Pas-Schoonen K T, et al. The anaerobic oxidation of ammonium[J]. FEMS Microbiology Reviews, 1999, 22: 421—437.
- [11] 肖羽堂, 吴鸣, 许建华. 生物预处理净水工艺除色度生产应用研究[J]. 工业水处理, 2001, 21(5): 9—10.

Experimental study on treatment of wastewater from Xinyi River by overland flow system

ZHANG Xu-dong^{1 3}, RUAN Xiao-hong^{2 3}, SUN Min³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Key Laboratory for Integrated Regulation and Resources Exploration on Shallow Lake, Ministry of Education, Nanjing 210098, China;

3. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Through a pilot-scale experiment of the overland flow system, four plants, i. e. *Zoysia matrella*, *Typha*, *C. goeringii*, and *Poa Pratense*, were compared about their efficiencies in removal of COD_{Mn} , $\text{NH}_3\text{-N}$ and chroma from the wastewater of the Xinyi River. The results show that the removal effect of *Poa Pratense* is the best of the four plants, the removal rate of COD_{Mn} , $\text{NH}_3\text{-N}$ and chroma reaching 55%, 89.2% and 51.2%, respectively, and that $\text{NH}_3\text{-N}$ is most effectively removed among the three studied indices, the removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ reaching 78.8%, 79%, 67.6%, and 89.2% by the four plants respectively.

Key words: Xinyi River; water pollution; overland flow system; land treatment; removal rate