文章编号:1673-9469(2014)02-0059-04 doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2014.02.015

人工湿地中不同植物对生活污水的净化研究

姜新佩[1],张 欢[1],李 莹[1],刘龙龙[2]
(1.河北工程大学 水电学院,河北 邯郸 056038;2.魏县河务局,河北 邯郸 056038)

摘要:本文阐述了不同植物在潜流人工湿地处理生活污水的研究中对不同污染物的净化效果,经分析表明:第2个单元潜流湿地中菖蒲对TP及浊度的净化效果较好,去除率达到了60%和70%;第4、第5单元美人蕉和芦苇对于NO_3^--N的去除率达到12.2%和11.9%;第5单元芦苇对TN的净化效果较好,去除率达到15%;而5个单元对于CODmn的净化效率相当,第2单元对各指标都有较高的去除率。另外,该潜流人工湿地对滏阳河水总体净化效果较好,TP、TN、NO_3^--N、CODmn、以及浊度的出水质量浓度分别为0.01 mg/L、3.1 mg/L、3.5 mg/L、2.7 mg/L和0.085度。按照GB3838-2002,出水水质除TN低于Ⅴ类水标准外,其余指标均达到Ⅱ类水标准。

关键词:潜流人工湿地;生活污水;去除率,出水浓度
中图分类号:X171 **文献标识码**:A

Purification and study on domestic sewage of different plants in subsurface flow constructed wetland

JIANG Xin-pei[1],ZHANG Huan[1],LI Ying[1],LIU Long-long[2]
(1. School of Water Conservancy and Electric Power, Hebei University of Engineering,Hebei Handan 056038,China;
2. Weixian Engineering Bureau, Hebei Handan 056038,China)

Abstract:The article mainly describes the purification effect of different plants to treat the domestic sewage in subsurface flow constructed wetland. According to the analysis, the irises in subsurface flow wetland have a good purification effect for TP and turbidity, and the removal rate reaches to 60% and 70%. The Canna and reeds in the fourth and fifth unit have a significant impact in purification, and the removal rate reaches to 12.2% and 11.9%. The reeds in the fifth unit have good purification effect for TN, and the removal rate reaches to 15%. The five units all play a considerable role on the purify of CODmn. Wherein, the second unit has a high removal rate in all indicators due to the influence of water quality. In addition, the subsurface flow constructed wetland has a good purification effect on Fuyang River, and the effluent concentration of TP, TN, NO_3^--N, CODmn and turbidity are 0.01mg/L, 3.1mg/L, 3.5mg/L, 2.7mg/L and 0.085 degree. According to GB3838-2002, TN is excepted to be below the Ⅴ water standard, the other indicators of the effluent quality meets with Ⅱ water standard.

Key words:subsurface flow constructed wetland; domestic sewage; removal rate; effluent concentration

在现代城市建设中,人与生态环境的和谐发展与进步是建设的主要目标。随着人民物质生活水平的提高和现代工业的快速发展,生态环境的破坏也日渐严重,近来已经席卷全国的雾霾,就是生态环境严重破坏的结果。而湿地生态系统具有水文功能、生物地球化学功能和生态功能。它是

收稿日期:2013-12-12
基金项目:河北省科学技术研究与发展计划项目(13273603D)
作者简介:姜新佩(1961-),男,河北邯郸人,博士,教授,从事水利工程相关研究工作。

地球表层最独特的生态系统和过渡性景观,能够蓄水、调节径流和均化洪水,截留沉积物,补给地下水;促进养分的输入、迁移与输出,相当于一个养分库;亦能够维持生物链,是鸟类栖息地和鱼类丰富多样的索饵场,是重要的物种基因库,也是区域生态环境变化的缓冲场。本文阐述了不同植物在处理生活污水的研究中对不同污染物的净化效果,并针对水体的污染情况将其应用到岳城水库水源地水生态环境综合治理中。

1 试验方法

1.1 人工湿地设计

该试验在河北工程大学水利馆进行初步实践,试验设计了并列的2组复合型人工湿地,均是矩形砖混结构[1],规格均为12 m×3 m×1.5 m,湿地设计均为5个单元,基质是粒径在0.2~5 cm之间的砾石和沙土。在稳定运行期间该复合型人工湿地HLR为0.17~1.39 m^3/m^2.d,HRT为0.92~8.91d。现就一组来详细介绍,工艺流程为:集水井—生物塘—水平潜流—生物塘—水平潜流—垂流湿地。图1为人工湿地的一个剖面图。

1.2 试验方法

该复合型人工湿地模型于2012年8月建设完毕,试验用水来自滏阳河,其河水主要是城市污水,试验移栽了香蒲、菖蒲、美人蕉、水葫芦、芦苇等植物,试验前期间歇进水,系统培育半个月,植物生长状况良好,于9月开始连续进水进行实验。

该试验检测了pH、浊度、TN、TP、NO_3^--N、NO_2^--N、CODmn、NH_4^+-N等水质指标,在试验期间会定期捞取枯枝死叶以减少其对湿地水质的影响,每周采样2~3次,根据系统运行情况适当增加检测水质次数。试验中的各水质指标则根据《水和废水监测分析方法(第四版)》进行水质检测[2-3]。

2 试验结果与分析

2.1 人工湿地污水净化效果

表1为人工湿地水质情况。从表1可以看出:人工湿地TP的进水指标为Ⅲ类水,经过5个单元的净化,出水水质在Ⅱ类水及以上;而人工湿地TN的进水指标远远要高于Ⅴ类水,经过人工湿地五个单元的净化后,出水水质也相对提高,但效果也不太理想;进水CODmn指标为Ⅳ类水,经过净化后,平均达到了Ⅱ类水标准;可见,该人工湿地处理对生活污水的处理是相对成功的。

其中,第1、2、3、4、5单元中的植物依次为水葫芦、菖蒲、水葫芦、美人蕉、芦苇。

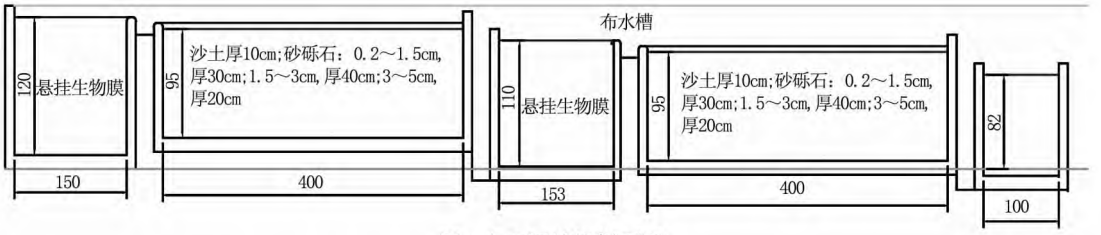

图1 人工湿地纵剖面图

Fig.1 The longitudinal sectional of the constructed wetland

表1 人工湿地水质情况

Tab.1 The water quality of the wetland

水质	CODmn/mg.L^{-1}	浊度/度	TN/mg.L^{-1}	TP/mg.L^{-1}	NO_3—N/mg.L^{-1}
进水	6.28	1.40	5.38	0.12	5.87
第1单元出水(去除率)	5.3 (15.25%)	0.93(33.58%)	4.87(9.51%)	0.08(30.64%)	5.60(4.66%)
第2单元出水(去除率)	4.06(23.6%)	0.27(71.08)	3.83(21.39%)	0.03(60.33%)	4.61(17.67%)
第3单元出水(去除率)	3.71(8.63%)	0.31(-17.79%)	3.95(-3.18%)	0.03(1.20%)	4.53(1.69%)
第4单元出水(去除率)	3.43(7.47%)	0.12(61.73%)	3.78(4.45%)	0.015(53.94%)	3.98(12.22%)
第5单元出水(去除率)	3.16(7.88%)	0.22(-87.07%)	3.23(14.46%)	0.012(18.42%)	3.50(11.86%)
出水(去除率)	2.95(6.66%)	0.14(37.25%)	3.23(0%)	0.008(30.65%)	3.35(4.39%)
总去除率	52.93%	89.84%	40%	92.92%	42.93%

2.2 湿地对 TP 的净化效果

人工湿地系统对磷的去除过程是由植物吸收、微生物去除和填料的物理化学作用共同完成的,其中被广泛认同的主要去除途径是填料对 P 的物化吸附和化学沉降作用[4]。

图 2 是湿地 TP 在湿地单元中的沿程变化图,图 3 是不同湿地植物单元对 TP 的净化效果图。

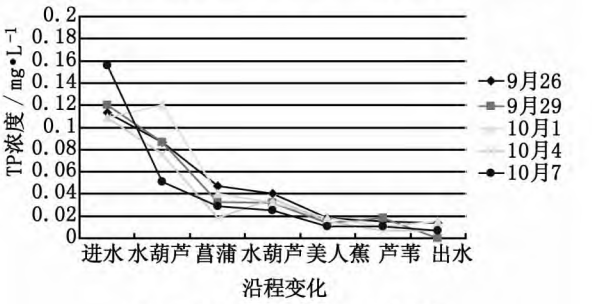

图2 TP在湿地单元中的沿程变化

Fig. 2 The change of TP along the wetland unit

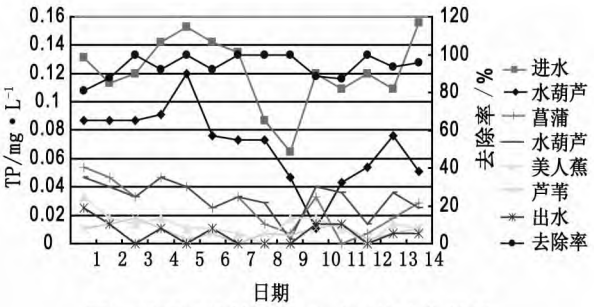

图3 不同湿地植物单元对TP的净化效果

Fig. 3 Purification effect of TP in different wetland plants

从图 2 可以看出,TP 含量在湿地单元中不断沿程降低,不同植物床除磷效果不同,在第 2 个单元中去除率最高,是因为第 2 单元是一个水平潜流池,而第 1 单元为生物塘,潜流湿地中基质富含磷细菌,将不可直接利用的、有机态的磷降解为简单的可供植物和微生物吸收的磷化物,并且在厌氧条件下提供短链脂肪酸,因此潜流池中基质对 P 的物化吸附和化学沉降作用使得 TP 含量迅速降低。第 4 单元的净化效果优于第 3 单元,依然是这个原因。

图 3 中大量试验也证实了上面结论,大量试验表明,该湿地系统对 TP 的净化效果良好,平均去除率均在 90% 以上,且无论进水 TP 含量如何变化,其出水总能维持一个稳定的、较好的质量,TP 出水质量浓度在 0 ~ 0.02 mg/L 之间,达到 GB18918 - 2002 的一级排放标准。

2.3 湿地对 TN 的净化效果

湿地中氮的净化途径有 6 种,分别为:①氨化合物的物理转移;②氨化作用;③硝化作用;④反硝化作用;⑤固氮作用;⑥氮的同化作用。许多研究表明,微生物的硝化与反硝化作用是脱氮的主要途径。TN 的去除主要依靠植物根系大表面积附着的大量微生物,增强和维持介质的水力传输,植物为根区好氧微生物输送氧气,促进硝化细菌的生长,从而达到脱氮的目的[5]。

图 4 是湿地 TN 在湿地单元中的沿程变化图,图 5 是不同湿地植物单元对 TN 的净化效果图。

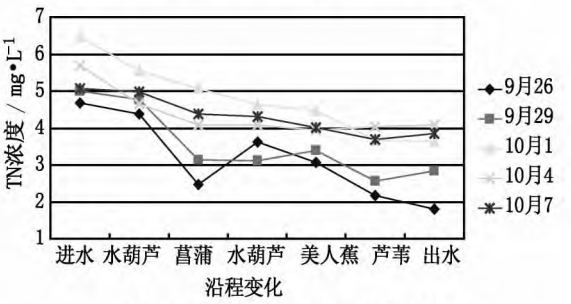

图4 TN在湿地单元中的沿程变化

Fig. 4 The change of TN along the wetland unit

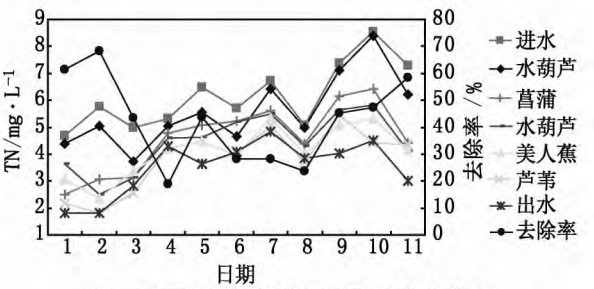

图5 不同湿地植物单元对TN的净化效果

Fig. 5 Purification effect of TN in different wetland plants

由图 4 可见,湿地系统中 TN 浓度沿程降低,第 2 和第 5 单元净化效果相对较好,第 2 单元菖蒲对 TN 的去除率平均为 21.4%,第 4 单元芦苇对 TN 的去除率平均为 14.5%。可能与 N 在湿地中的存在形式有关,在湿地中无机氮最重要的存在形式是 NH_4^+,还有 NO_2^-、NO_3^-、N_2O 以及溶解的 N_2,氮的有机形式包括尿素、氨基酸、胺类、嘌呤和嘧啶。在湿地系统这个大的反应场所中,各种反应可能相互促进,也有可能相互抑制,使得反应不能有效地进行。

从图 5 可以看出,湿地中 TN 的净化效果相对 TP 较差,总去除率平均在 40% 左右。在该人工湿地系统中,菖蒲和芦苇是净化污水中 TN 的主要

植物。

2.4 湿地对 NO_3^--N 的净化效果

湿地水中硝酸盐是在有氧环境下，亚硝氮、氨氮等各种形态的含氮化合物中最稳定的氮化合物，也是含氮有机物经无机化作用最终的分解产物[6]。亚硝酸盐可以经氧化而生成硝酸盐，硝酸盐在缺氧的环境中，也可受微生物的作用而还原成亚硝酸盐。

图 6 是湿地 NO_3^--N 在湿地单元中的沿程变化图，图 7 是不同湿地植物单元对 NO_3^--N 的净化效果图。

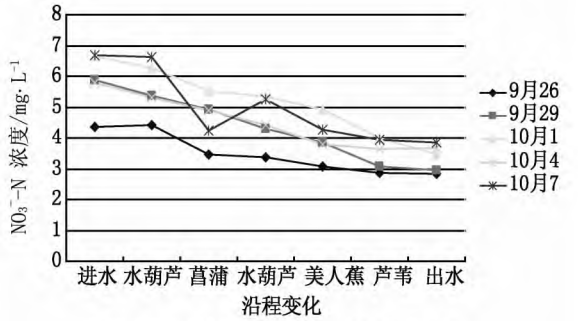

图6 NO_3^--N在湿地单元中的沿程变化

Fig. 6 The change of NO_3^--N along the wetland unit

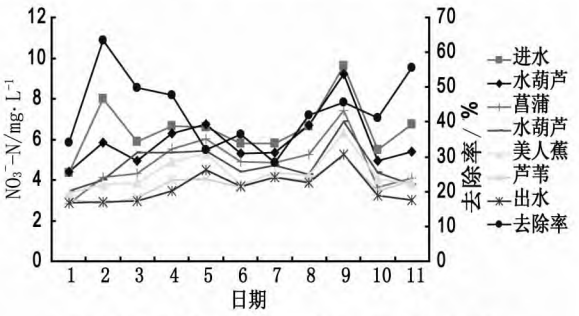

图7 不同湿地植物单元对NO_3^--N的净化效果

Fig. 7 Purification effect of NO_3^--N in different wetland plants

从图 6 可以看出，湿地中 NO_3^--N 的质量浓度沿程降低，尤其在第 2 单元和第 4 单元去除效果最好，说明菖蒲和美人蕉对 NO_3^--N 有良好的去除效果。经测定，湿地系统中亚硝酸盐含量很低，而 NO_3^--N 的含量相对较高，可能是亚硝酸盐在有氧的环境下转变而来，从而影响了 NO_3^--N 的去除。

从图 7 可以看出，无论湿地进水 NO_3^--N 的质量浓度如何变化，其出水质量浓度总能保持一个比较稳定的范围，说明湿地系统的纳污能力较高。湿地单元内 NO_3^--N 的总去除率平均为 40.48%。

2.5 湿地对 CODmn 的净化效果

高锰酸盐指数是指在酸性或碱性介质中，以高锰酸钾为氧化剂，处理水样时消耗的量[7]。因此，高锰酸盐指数也常被作为地表水受还原性无机物质和有机污染物污染程度的综合指标。

图 8 是湿地 CODmn 在湿地单元中的沿程变化图，图 9 是不同湿地植物单元对 CODmn 的净化效果图。

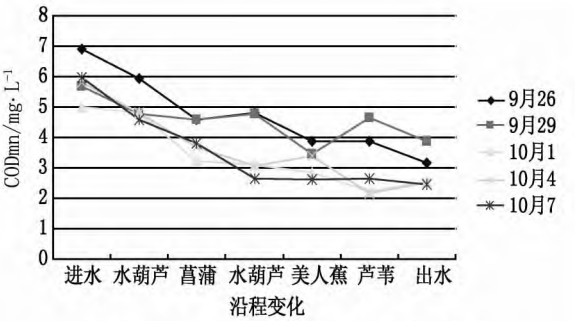

图8 CODmn在湿地单元中的沿程变化

Fig. 8 The change of CODmn along the wetland unit

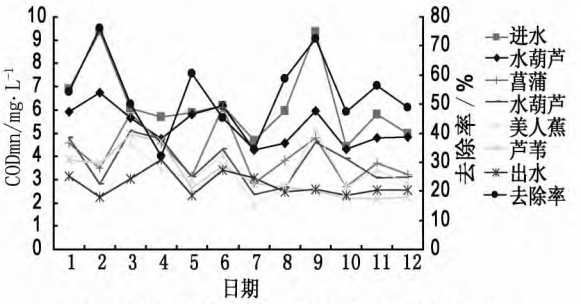

图9 不同湿地植物单元对CODmn的净化效果

Fig. 9 Purification effect of CODmn in different wetland plants

有研究表明，人工湿地对 CODmn 的去除，主要是通过湿地系统内部微生物的吸附降解、植物吸收以及填料的物理化学作用。从图 8 可以看出，湿地系统 CODmn 的质量浓度沿程降低，尤其在水葫芦单元和菖蒲单元净化效果明显，去除率分别达到 15%、24%。有研究分析比较了不同程度富营养化水中植物的净化能力，发现植物的净化能力在重度富营养化水中优于在轻度富营养化水中. 其原因可能是低浓度污水不能够满足植物的生长需要，从而影响到植物的净化能力，使得系统第 1、2 单元的处理效果明显。

由图 9 可以看出，湿地进水 CODmn 的质量浓度变化较大，但是出水 CODmn 的浓度变化很小，保持在 2.3 ~ 3 mg/L 之间，从而保证了出水 CODmn 的质量，从图中也可以看出，湿地 CODmn

的出水质量达到Ⅱ类水标准。

2.6 人工湿地对浊度的净化效果

浊度是由于水体中含有泥沙、粘土、有机物、无机物、浮游生物和微生物等悬浮物质所造成的，可使光散射或吸收，可经过混凝、沉淀和过滤等处理，使水变得清澈[8-9]。

图 10 是湿地浊度在湿地单元中的沿程变化图，图 11 是不同湿地植物单元对浊度的净化效果图。

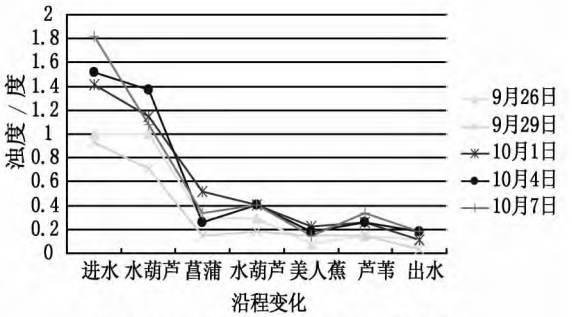

图10 浊度在湿地单元中的沿程变化

Fig. 10 The change of turbidity along the wetland unit

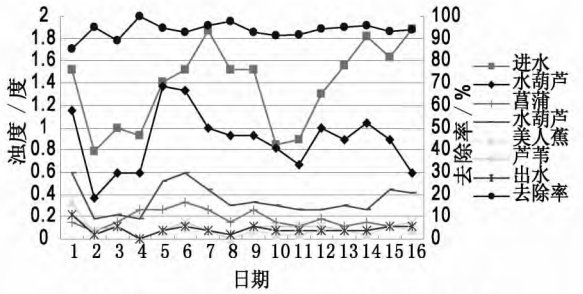

图11 不同湿地植物单元对浊度的净化效果

Fig. 11 Purification effect of turbidity in different wetland plants

从图 10 可以看出，湿地水体的浊度在第 1 第 2 单元降低最快，分别达到 30% 和 70%，主要是由于潜流湿地中的基质对于泥沙、粘土、有机物、无机物等起到了拦截的作用；水中浊度到了第三单元就有小幅度增加，可能是由于携带了湿地生物塘系统中植物腐烂的根系以及枯死的枝叶，使得水体浊度增大。但是最后也保持了一个稳定的范围。

由图 11 可以看出，湿地进水的浊度变化较大，在第一第二单元中浊度也变化较大，但是经过五个单元的逐层降解，湿地水体出水的浊度保持稳定。使得平均去除率在 90% 以上，保证了出水水质。

3 结论

1）潜流人工湿地对滏阳河水的净化效果较好，对 TP、TN、NO_3^--N、CODmn、以及浊度的去除率分别达到了 90%、40%、41%、53% 和 93%，出水质量浓度分别为 0.01 mg/L、3.1 mg/L、3.5 mg/L、2.7 mg/L 和 0.085 度。按照《地表水环境质量标准》(GB3838－2002)，出水水质除 TN 低于Ⅴ类水标准外，其余指标均达到Ⅱ类水甚至Ⅰ类水标准。

2）第 2 个单元潜流湿地对 TP 及浊度的去除效果较好，去除率达到了 60% 和 70%，由于进水水质影响，第 2 单元对各指标都有较高的去除率；第 5 单元芦苇对 TN 的去除效果较好，去除率达到 15%；第 4 第 5 单元美人蕉和芦苇是 NO_3^--N 净化的主要场所，去除率达分别到 12.2% 和 11.9%；而 5 个单元对于 CODmn 的净化效率相当。

参考文献：

[1] 刘汉湖，白向玉，夏宁. 城市废水人工湿地处理技术[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2006.

[2] 国家环境保护总局，《水和废水检测分析方法》编委会. 水和废水检测分析方法(第四版)[M]. 北京：中国环境科学出版社，2002.

[3] 徐秀梅，景介辉. 两室电化学沉淀法制备超细氧化锌粉体[J]. 黑龙江科技学院学报，2012，22(6)：567－570.

[4] 黄 新，向光明. 复合人工湿地系统净化城市富营养水体的应用研究[J]. 环境科学与技术，2013，36(9)：127－128.

[5] 曹优明. 美人蕉人工湿地对城市生活污水的净化研究[J]. 环境科学与技术，2009，32(7)：122－123.

[6] 王庆海，段留生，武菊英，等. 北京地区人工湿地植物活力及污染物去除能力[J]. 应用生态学报，2008，19(5)：1132－1133.

[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)：33－34.

[8] 白峰青，李 冲，朱文敏，等. 秋冬季节复合人工湿地系统对污水净化效果研究[J]. 河北工程大学学报：自然科学版，2009，26(2)：46－47.

[9] 沈 飞，陆晓峰，万印华，等. PVB 起滤膜污染特性及期在 MBR 中的应用[J]. 黑龙江科技学院学报，2011，21(1)：1－5.

（责任编辑　刘存英）