

植物人工快渗系统污水处理效果

康爱彬, 王立璇, 张 滨

(河北化工医药职业技术学院化学与环境工程系, 石家庄 050026)

摘 要: 以紫背天葵菜为种植植物, 研究植物人工快渗系统对生活污水污染物的去除效果。结果表明, 植物人工快渗系统对 COD、氨氮和总磷平均去除率分别为 85.8%、95.3% 和 94.8%, COD、氨氮的出水浓度均能满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 排放标准。出水中总磷的浓度能满足一级 B 标准。植物人工快渗系统对总氮平均去除率为 67.6%。总氮、总磷较常规人工快渗系统去除率明显提高。植物的吸收和根系的截留是总氮总磷去除率显著增加的主要因素。植物种植为人工快渗系统提供了新的思路, 不仅能提高污染物去除效率, 还能增加环境美观度。

关键词: 人工快渗系统; 植物; COD; 总氮; 总磷

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0972-04

The sewage treatment effect of a plant constructed rapid infiltration system

KANG Aibin, WANG Lixuan, ZHANG Bin

(Department of Chemistry and Environmental Engineer, Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang 050026)

Abstract: The efficacy of pollutant removal from a domestic sewage by Begonia fimbriatula plant Constructed Rapid Infiltration system was studied. The results showed that the average removal rates of COD and ammonia nitrogen were 85.8% and 95.3%, respectively and the effluent concentration met Standard I-A of "Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant(GB 18918-2002)". The average removal rate of total phosphorus was 94.8%, which met Standard I-B of "Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant (GB 18918-2002)". The average removal rate of total nitrogen was 67.6%, and the removal rate of total nitrogen and total phosphorus significantly increased compared with those of the conventional constructed rapid infiltration system. Plant absorption is the main factor for increasing the removal rate. Plant cultivation provides a new idea for the constructed rapid infiltration system, which can not only improve the efficiency of the pollutant removal, but also enhance the environmental beauty.

Key words: constructed rapid infiltration system; plant; COD; TN; TP

人工快渗系统是在土地处理基础上演变的污水处理技术^[1], 人工快渗系统对有机污染物、氨氮、SS、阴离子表面活性剂等常规的污染物去除率较高, 但是对总氮、总磷的去除率偏低, 不能满足相关排放标准的要求^[2-5]。一些学者通过添加特殊渗滤介质以及外加碳源等方法提高了系统的脱氮除磷效率, 但是也增加了一些运营成本^[6-7]。参照人工湿地的研究成果, 通过种植植物, 能提高污染物的去除效果, 还能增加环境美观度。本试验选择种植合适的观赏植物, 研究植物人工快渗系统对生活污水污

染物的去除效果, 特别是脱氮除磷效率。

1 材料与方法

1.1 试验原水

本试验进水来自校园学生生活污水, 该水经过化粪池处理后, 取上清液进入配水池备用。试验进水的 pH 为 7.4~8.5, 试验进水浓度见表 1。

1.2 试验设计

本试验设计流程见图 1。

配水池: 主要用于调节从化粪池来的上清液,

收稿日期: 2016-05-27

基金项目: 河北省科技支撑计划项目(12273602)资助。

作者简介: 康爱彬, 博士, 副教授。E-mail: kabcugb@163.com

保证快渗池进水量和水质的相对稳定。配水池为直径 1.0 m, 高 2.5 m 的圆形桶。

表 1 试验进水特征

| Table 1 Quality of wastewater | | mg·L ⁻¹ |
|-------------------------------|----------|--------------------|
| 水质指标 | 范围 | 平均 |
| Water quality index | Range | Average |
| COD | 152~350 | 243.0 |
| NH ₃ -N | 35~82 | 59.9 |
| TN | 80~150 | 97.6 |
| TP | 7.2~12.8 | 9.8 |

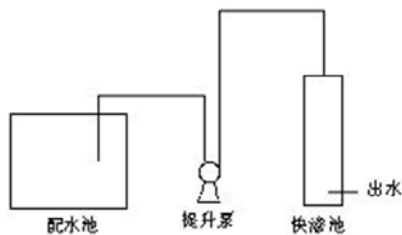


图 1 试验工艺流程图

Figure 1 Diagram of treatment process

快渗池: 快渗池是核心处理单元, 快渗池的尺寸长×宽×高为: 3.0 m×1.5 m×2.0 m。池的结构为砖混型。池内渗滤介质厚度 1.5 m, 底部 0.3 m 填充石英砂和砾石为集水层。快渗池采用上端进水, 底端出水的方式运行。实验采用间歇进水方式, 每 6 h 进 1 次水, 每次进水 1 h, 落干 5 h。水力负荷 1.0 m·d⁻¹。

1.3 填料和植物的选择

快渗池中填料采用中砂, 粒径在 0.2~1.2 mm 之间。同时按 10:1 的比例混合大理石颗粒。植物的选择以景观植物为重点, 同时考虑生长快, 抗逆性强, 根系比较发达、喜欢潮湿环境等因素。通过实地考察和查阅资料, 选择紫背天葵菜作为种植植物。紫背天葵菜具有喜湿润环境、生产快, 抗逆性强, 根系比较发达、易种植等特点, 比较适于在快渗池中种植。在人工快渗池表层种植紫背天葵, 紫背天葵菜按行距×宽距为 0.15 m×0.25 m, 栽植 120 棵成苗。

1.4 检测方法

COD、氨氮、总氮、总磷等均采用《水和废水监测分析方法》进行检测^[8]。

2 结果与分析

2.1 植物快渗系统对 COD 去除效果

正常运行以后, COD 的去除效果见图 2。植物快渗池 COD 进水浓度 175~315 mg·L⁻¹, 平均进水

浓度为 243 mg·L⁻¹, 出水浓度 22.3~43.2 mg·L⁻¹, 平均出水浓度为 34.6 mg·L⁻¹, COD 的平均去除率为 85.8%, 出水中 COD 浓度全部满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 排放限值要求。

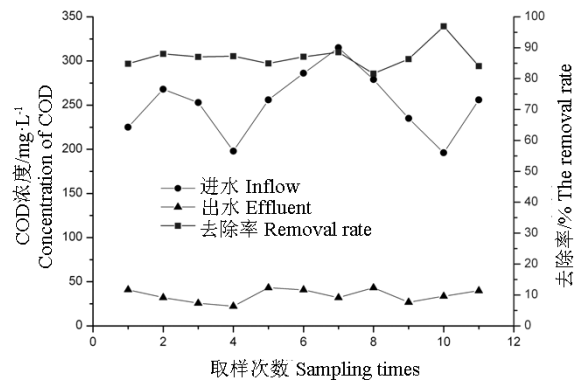


图 2 COD 去除效果

Figure 2 The removal rate of COD

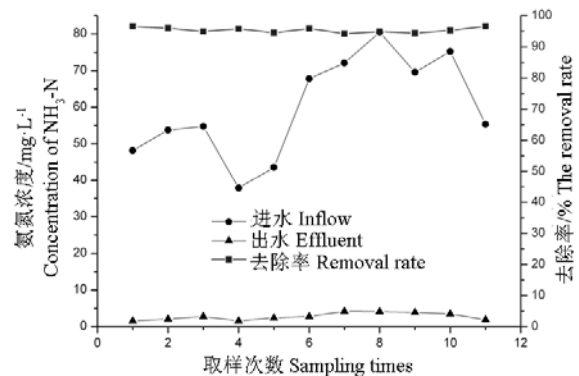


图 3 氨氮去除效果

Figure 3 The removal rate of NH₃-N

种植植物以后, 人工快渗系统依然保持了较高的 COD 去除效果, 人工快渗系统对有机物的去除主要是通过渗滤介质的过滤、表面的吸附以及内部微生物的降解实现的。在进水阶段, 有机物被渗滤介质过滤、吸附在介质表面, 落干阶段再通过好氧有机物的生物降解作用完成对有机物的去除。渗滤介质的吸附截留是有机物去除的前提, 微生物的降解是有机物去除的关键。同时种植植物以后, 通过根系的吸收等作用, 消耗了系统内的有机物, 而且植物根际周边也生长了很多微生物, 提高了系统对有机物的去除效率。

2.2 植物快渗系统对氨氮去除效果

正常运行以后, 氨氮的去除效果见图 3。植物快渗池氨氮进水浓度为 37.9~80.5 mg·L⁻¹, 平均进水浓度为 59.9 mg·L⁻¹, 出水浓度为 1.6~4.2 mg·L⁻¹, 平均出水浓度为 2.8 mg·L⁻¹, 平均去除率为 95.3%,

出水中氨氮浓度全部满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 排放标准。

植物人工快渗系统采用了传统的干湿结合的方式进行运行。在淹水过程中,通过渗滤介质的吸附截留,将氨氮等污染物截留在渗滤介质表面;落干过程中,通过好氧微生物的作用,利用氨氧化细菌将有机氮转变成氨氮,氨氮在亚硝化和硝化细菌的作用下,氧化成为硝酸盐氮。同时紫背天葵菜根系比较发达,可以改变快渗池表层的复氧性能和渗透性,提高了硝化作用^[9-10]。而紫背天葵菜自身生长也需要大量的氮类营养物质,进一步增加了氨氮的去除率。

2.3 植物快渗系统对总氮去除效果

正常运行以后,总氮的去除效果见图 4。植物快渗池总氮进水浓度范围在 86.3~110.2 mg·L⁻¹ 之间,平均进水浓度为 97.6 mg·L⁻¹,出水浓度 24.2~37.7 mg·L⁻¹,平均出水浓度为 31.6 mg·L⁻¹,平均去除率为 67.6%,出水中总氮的浓度不能满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 排放标准。刘家宝等^[11]和康爱彬等^[4-5,10]研究常规的人工快渗系统总氮的去除率只有 30%左右,可见通过植物种植以后,总氮的去除效果提升比较明显。

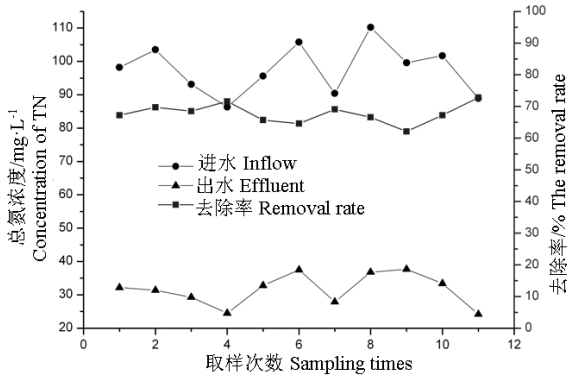


图 4 总氮的去除效果
Figure 4 The removal rate of TN

2.4 植物快渗系统对总磷去除效果

正常运行以后,总磷的去除效果见图 5。植物快渗池总磷进水浓度范围在 7.8~12.4 mg·L⁻¹,平均进水浓度为 9.8 mg·L⁻¹,出水浓度为 0.28~0.69 mg·L⁻¹平均出水浓度为 0.51 mg·L⁻¹,平均去除率为 94.8%,出水中总磷的浓度满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 B 排放标准。在以前的研究中普通的人工快渗系统总磷的去除率只有 50%左右^[12-13],可见通过植物种植以后,总

磷的去除效果提升比较明显。

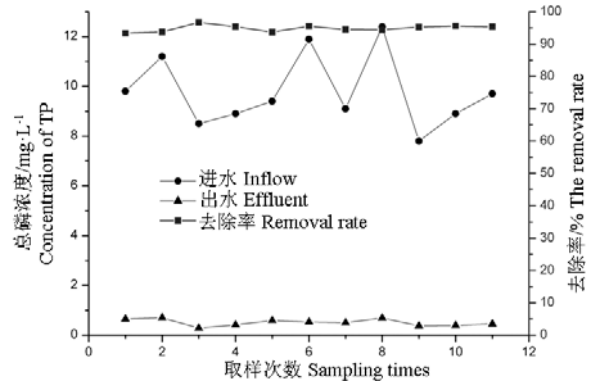


图 5 总磷的去除效果
Figure 5 The removal rate of TP

2.5 植物人工快渗系统 N、P 去除与紫背天葵中 N、P 含量的关联

从试验结果可知,植物人工快渗对总氮、总磷的去除较常规人工快渗系统明显提升。

人工快渗系统中氮的去除主要依靠氨的挥发、渗率介质的吸附截留、微生物的硝化和反硝化作用等。总氮的去除主要依靠快渗池内反硝化作用和植物的吸收共同完成。本试验由于氨氮的去除效果较好,而总氮的去除效果差,说明系统内部反硝化效果差。反硝化作用主要是由反硝化细菌完成,但是反硝化作用的环境影响因素比较多,包括碳源、温度、pH 和溶解氧等条件。而快渗池底部虽然满足溶解氧、温度等条件,由于 COD 平均出水浓度为 34.6 mg·L⁻¹,碳氮比仅为 1.2,远远满足不了反硝化作用需要的碳源的要求,同时停留时间太少,导致快渗池内反硝化脱氮效果差,苏小东等^[14]和范远红等^[15]研究表明增加额外碳源可以明显提高人工快渗系统的脱氮效率。

表 2 紫背天葵的成分分析

| 编号 No. | 水分 Water | N | P | K |
|---------------|----------|------|------|------|
| 样品 1 Sample 1 | 94.52 | 2.65 | 0.17 | 5.58 |
| 样品 2 Sample 2 | 94.38 | 2.69 | 0.18 | 5.56 |
| 平均 Average | 94.45 | 2.67 | 0.18 | 5.57 |

本系统中总氮的去除效果明显提升,主要来源于种植植物。快渗系统中的植物,通过植物吸收、根系释放分泌物和酶以及植物和根际微生物的协同作用去除总氮^[16]。紫背天葵菜在生长过程中需要大量的氮类等营养物质,通过吸收无机氮,保证了植物体内的代谢和生长,实验过程中对紫背天葵菜进行

了成分分析, 结果见表 2。

从表 2 中可以看出, 紫背天葵菜中氮的含量是比较高的, 说明其在生长过程中对 N 的需求也较大。即能消耗一部分污水中的无机氮, 从而提高了快渗池总氮的去除效率。

人工快渗系统除磷主要是依靠渗滤介质吸附, 化学反应以及生物作用完成。试验选择的填料是中砂, 本身对磷的吸附去除较差, 而渗滤介质中钙、镁、铝、铁等矿物含量较少, 通过化学反应生成磷酸盐沉淀较少。同时在快渗池内微生物作用除磷的效率也较低, 本试验除磷明显提升的原因主要是增加了植物紫背天葵菜, 从表 2 中可以发现, 紫背天葵菜中磷的含量是比较高的, 在生长过程中需要大量的磷类等营养物质, 通过吸收污水中的磷, 保证了植物体内的代谢和生长。植物对污水中磷的吸附截留与吸收是提高磷的去除效率的主要原因^[17]。

3 结论

植物人工快渗系统对 COD、氨氮平均去除率为 85.8% 和 95.3%, 出水浓度均能满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 排放限值要求。

植物人工快渗系统对总磷平均去除率为 94.8%, 出水浓度均能满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 B 排放标准限值要求。植物人工快渗系统出水中总氮总磷去除率较常规人工快渗系统去除率明显提高, 植物的吸收和根系截留是去除率显著提高的主要因素。

植物种植为人工快渗系统提供了新的思路, 不仅能提高污染物的去除率, 还能增加环境美观度。

参考文献:

- [1] 何江涛, 钟佐桑, 汤鸣皋. 解决污水快速渗滤土地处理系统占地突出的新方法[J]. 现代地质, 2001, 15(3): 339-345.
- [2] 张金炳, 汤鸣皋, 陈鸿汉, 等. 人工快渗系统处理洗浴污水的试验研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(4): 539-543.
- [3] SCHMITT N, WANKO A, LAURENT J, et al. Constructed wetlands treating stormwater from separate sewer networks in a residential Strasbourg urban catchment area: Micropollutant removal and fate[J]. J Environ Chem Eng, 2015, 3(4): 2816-2824.
- [4] 康爱彬, 杨雅雯, 王守伟, 等. 三级串联人工快渗系统处理养殖废水[J]. 环境工程学报, 2009, 3(3): 475-478.
- [5] 康爱彬. 人工快渗系统除磷方法和多段处理工艺研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2006.
- [6] 李丽, 陆兆华, 王昊, 等. 新型混合填料人工快渗系统处理污染河水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(11): 86-89.
- [7] 王栎雯, 刘康怀, 司圣飞, 等. 人工快渗系统优化填料组合试验研究[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(6): 81-84.
- [8] 国家环境保护总局.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.
- [9] LI Y, LI H, SUN T, et al. Study on nitrogen removal enhanced by shunt distributing wastewater in a constructed subsurface infiltration system under intermittent operation mode[J]. J Hazard Mater, 2011, 189(1/2): 336-341.
- [10] 康爱彬, 徐基胜, 谢宇轩, 等. 三级串联人工快渗系统处理高氨氮生活污水[J]. 环境工程, 2011, 29(5): 8-11.
- [11] 刘家宝, 杨小毛, 王波, 等. 改进型人工快渗系统处理污染河水中试[J]. 中国给水排水, 2006, 22(13): 14-17.
- [12] 王志帅, 王成端. 人工快速渗滤系统主要技术研究的国内进展[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2011, 24(4): 493-496.
- [13] 苏小东, 李艳, 原金海, 等. 不同水生植物对水体中氮磷吸收去除效果的试验[J]. 净水技术, 2014, 33(2): 48-51.
- [14] 范远红, 崔理华, 林运通, 等. 不同水生植物类型表面流人工湿地系统对污水厂尾水深度处理效果[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 2875-2880.
- [15] ZHENG Y, WANG X C, GE Y, et al. Effects of annual harvesting on plants growth and nutrients removal in surface-flow constructed wetlands in northwestern China[J]. Ecol Eng. 2015, 83, 268-275.
- [16] 李稹, 黄娟, 姜磊, 等. 人工湿地植物根系分泌物与根际微环境相关性的研究进展[J]. 安全与环境学报. 2012, 12(5): 41-45.
- [17] 梁奇奇, 沈耀良, 吴鹏, 等. 植物种类与水力负荷对人工湿地去除污染物的交互作用[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 2975-2980.