

植物对潜流人工湿地净化微污染水效果的影响研究

陈俊宏 高旭* 谢伟丹 黄磊 马晓霞

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要 以4种湿地植物为实验对象,在野外构建中试潜流人工湿地,研究了不同植物及植物连根收割对湿地运行效果的影响。结果显示,植物明显提升了湿地的去污效果;其中美人蕉湿地的TP和 NH_4^+-N 去除率最高,达到55.6%和78%;空心菜湿地的TN去除率最高,达到80.5%;芦竹湿地的COD去除率最高,为26.6%;植物连根收割后,湿地运行效果下降;其中TN去除率降至空白水平之下,而其他污染指标下降至略高于空白的水平。

关键词 植物 水平潜流人工湿地 微污染水 去除率

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)02-0515-04

Impact of plants on purification efficiencies of subsurface horizontal flow constructed wetland treating micro-polluted water

Cheng Junhong Gao Xu Xie Weidan Huang Lei Ma Xiaoxia

(College of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract In order to investigate the impact of plant species and harvesting on purification efficiencies of subsurface horizontal flow constructed wetland (CW), CWs with four different plants were constructed to treat micro-polluted water under field conditions. The results showed that plants helped to improve removal rates of pollutants in CW. CW with *Canna indica* had the highest removal rates of TP and NH_4^+-N , which were 55.6% and 78.0%, respectively. CW with *Ipomoea aquatic* had highest removal rate of TN, which was 80.5%. CW with *Arundo donax* had highest removal rate of COD, which was 26.6%. Purification efficiencies of CWs reduced with plants harvesting, and removal rate of TN descended below the control, while removal rates of other pollutants kept slight superiority to the control.

Key words plants; horizontal subsurface flow wetland; micro-polluted water; removal rate

近年来,西部小城镇地区多数水源补给河流受到轻度污染;由于缺乏合适的修复技术,这些受污河流得不到有效的治理,从而威胁到小城镇地区饮用水安全。研究者尝试用人工湿地系统对受污染的河水进行修复和治理,取得了良好的效果^[1-3]。

植物是人工湿地重要的组成,对湿地的去污效果有较大的影响。国内外常用于人工湿地的植物有^[4-6]:美人蕉、菖蒲、香蒲、芦苇、灯芯草等,不同湿地植物的去污能力存在较大差异,相同植物对不同水体的去污表现也有不同。对人工湿地植物选择的研究多集中在污水处理领域^[7-8],关于植物在处理微污染河水人工湿地中的去污表现及选择的研究不多,关于植物收割对湿地运行影响的研究则少见报道。本实验选择4种常见的湿地植物,在野外构建中试潜流人工湿地对微污染河水进行修复,以研究

植物种类以及植物收割对湿地运行的影响,以期为微污染河水人工湿地修复系统的植物选择提供依据和参考。

1 材料及方法

1.1 装置

实验装置位于重庆市万州区高峰镇鹿山河旁。装置为水平潜流型人工湿地,装置总尺寸为 $L \times D \times H = 3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,分为进水区、处理区和出水区。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX07104-002);重庆市环境保护局环保科技计划项目(2011第12号)

收稿日期:2010-08-26;修订日期:2010-10-08

作者简介:陈俊宏(1984~),男,硕士研究生,主要研究方向为水处理技术。E-mail: powermaxno@sina.cn

* 通讯联系人 E-mail: gaoxu@cqu.edu.cn

处理区底层为 20 cm 厚粗糙碎石,中层为 30 cm 厚废砖,上层为 30 cm 厚卵石,表层覆土厚约 10 cm,水深为 0.8 m。配水区和出水区长 0.15 m,宽 1 m,以穿孔花墙与处理区相隔,以防短流并均化水质。根据填料粒径大小,用球体模型计算出孔隙体积,得到空隙率约为 50%。装置构造见图 1。

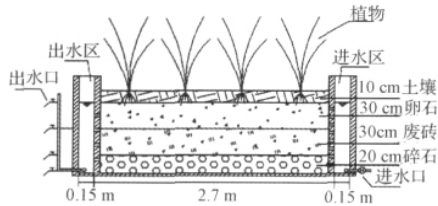


图1 水平潜流湿地构造

Fig. 1 Construction of horizontal subsurface flow wetland

1.2 进水

实验用水直接取至鹿山河。鹿山河是高峰水库最大的补给河流,全长近 10 km。据调查该条河流主要污染来源为居民生活污水和农业面源污染,目前该河 TN 和 TP 水质指标不能满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准,属微污染河水。实验时间为 2008 年 9—12 月,期间河水水质变化见表 1。

表1 人工湿地进水水质

Table 1 Water quality of influent in CWs

指标	NH_4^+-N	TN	TP	COD_{Mn}
水质	0.13 ~ 0.61	0.59 ~ 1.87	0.07 ~ 0.29	3.60 ~ 5.17
III 类标准	1	1	0.02	6

1.3 实验植物

湿地植物分别为美人蕉、菖蒲、芦竹以及空心菜,各植物特征及栽种情况见表 2。

表2 人工湿地中植物特征及栽种情况

Table 2 Characteristics of plants and planting conditions in CWs

植物名称	植物类型	栽种时间	种植密度(株/ m^2)
芦竹(<i>Arundo donax</i> L)	禾木科	2008 年 7 月	10 ~ 15
美人蕉(<i>Canna indica</i>)	美人蕉科	2008 年 7 月	10 ~ 15
菖蒲(<i>Acorus calamus</i> Linn)	菖蒲科	2008 年 7 月	10 ~ 15
空心菜(<i>Ipomoea aquatica</i>)	禾木科	2008 年 8 月	10 ~ 15

1.4 实验方法

湿地栽种植物后,控制水力停留时间为 2 d(进水流量为 $0.6 \text{ m}^3/\text{d}$) 运行湿地,待植物长势基本稳定

后开始实验。在植物成熟期(2008 年 9—11 月),考察 4 种植物湿地对污染物的去除效果;入冬前连根收割空心菜和菖蒲(2008 年 11—12 月),研究植物收割对湿地运行效果的影响。在各实验阶段,每周采集湿地进出水并检测水样 NH_4^+-N 、TN、TP、COD 浓度,其中 NH_4^+-N 采用纳氏试剂比色法、TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定、TP 采用过硫酸钾消解钼锑抗分光光度法、COD 采用高锰酸钾酸性法。

1.5 分析方法

数据统计使用 SPSS 13.0,图形处理使用 Origin 8.0。

2 结果与讨论

2.1 不同植物湿地的运行效果

不同植物湿地的运行效果对比见图 2,湿地 NH_4^+-N 、TN、TP 及 COD 的平均去除率见表 3。植物湿地各水质指标去除率均高于空白湿地,表明植物提升了湿地去污效率。方差分析显示,各湿地 COD 去除率的差异显著($P < 0.05$),其他指标的去除率差异不显著。

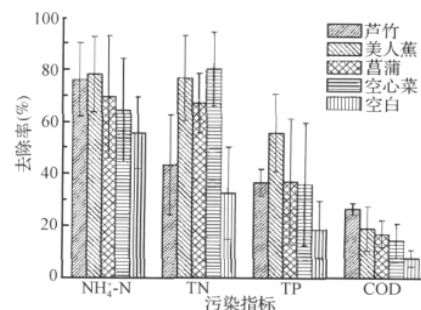


图2 植物成熟期湿地的污染物去除率

Fig. 2 Pollutant removal efficiency of different wetlands in plant's ripe phase

湿地间 NH_4^+-N 去除率差异不显著,这可能是低 NH_4^+-N 进水浓度减弱了植物的作用,同时也使得各湿地有较高的 NH_4^+-N 去除率。

根据相关报道,处理微污染水的人工湿地 TN 去除主要途径为植物吸收^[9]。据观察,空心菜和美人蕉生长明显快于另外两种植物,其湿地也对应了较高的 TN 去除率。芦竹生长较慢,其湿地 TN 去除率低于空心菜湿地 36.5%,这也表明植物生长对 N 源的吸收是植物影响湿地 TN 去除的主要因素。空心菜湿地的 TN 去除率高达 80.5%,表明空心菜是一种可以兼顾农业生产和污染治理的湿地植物。

表 3 湿地各阶段运行数据

Table 3 Data of all wetlands in different stages (%)

植 物	NH ₄ ⁺ -N		TN		TP		COD	
	成熟	收割	成熟	收割	成熟	收割	成熟	收割
芦竹	76.0 ± 8.1	—	43.5 ± 13.4	—	36.7 ± 2.9	—	26.6 ± 1.2	—
美人蕉	78.0 ± 8.3	—	76.5 ± 11.5	—	55.6 ± 10.1	—	19.0 ± 4.9	—
菖蒲	69.3 ± 13.6	59.12 ± 10.1	67.0 ± 8.1	19.0 ± 7.3	37.0 ± 13.9	22.2 ± 10.3	17.0 ± 3.0	12.1 ± 6.0
空心菜	64.3 ± 11.4	57.26 ± 8.3	80.5 ± 10.2	22.5 ± 8.4	36.0 ± 13.6	23.4 ± 11.5	14.3 ± 3.8	11.3 ± 3.0
空白	55.7 ± 7.5		32.5 ± 12.3		18.6 ± 6.4		7.6 ± 4.2	

注: ± SE 表示标准差。

植物可以通过对磷的吸收^[10]和对湿地颗粒物拦截能力的改善来影响湿地 TP 的去除^[9]。空心菜根系不发达,但通过快速生长对磷的吸收,其湿地 TP 去除率高于空白湿地 17.4%;芦竹生长缓慢,但通过发达根系对湿地颗粒性磷拦截能力的影响,使其湿地 TP 去除也高于空白湿地 18.1%;而美人蕉生长较快且具有发达的须根^[11],所以其湿地 TP 的去除率最高,高于空白湿地 37%。

各植物间湿地 COD 去除率差异显著 ($p < 0.05$),表明植物对 COD 去除的影响较大。芦竹湿地 COD 去除率最大,空心菜湿地 COD 去除率最小,表明植物根系是影响 COD 去除的主要因素^[12,13]。

2.2 湿地在植物收割后的运行效果

菖蒲和空心菜连根收割后,湿地 NH₄⁺ -N、TN、TP 及 COD 的平均去除率见表 3 2 种植物湿地收割前后的运行效果对比见图 3。植物连根收割后,湿地的所有水质指标去除率均出现下降,表明植物收割会影响湿地运行效率。

湿地 NH₄⁺ -N 去除率出现小幅度下降;前面分析知,低进水 NH₄⁺ -N 浓度削弱了植物对 NH₄⁺ -N

去除的作用,所以也可能削弱植物收割对湿地 NH₄⁺ -N 去除的影响。TN 去除率出现大幅度下降且低于空白湿地;由于植物吸收是 TN 去除的主要途径,植物收割后,缺少植物作用的湿地 TN 去除率会出现较大的降幅;而剩余在湿地中的植物残根腐烂后向水体释氮则可能是 TN 去除率低于空白的原因。

TP 去除率也出现下降但略高于空白湿地;这可能是由于植物收割后,植物对磷的吸收和植物根系对湿地拦截能力的改善消失^[12],所以湿地 TP 去除下降;同时湿地内填料的拦截吸附作用使得湿地可以保持稳定的 TP 去除。

COD 去除率也出现小幅度下降但仍高于空白;植物收割后,植物根系对微生物生存环境的改善作用和对湿地拦截能力的改善作用消失^[14],这可能是引起湿地 COD 去除率下降的原因;湿地 COD 去除率仍高于空白则可能是植物收割前对微生物有积极的影响,植物收割后,微生物数量和活性的优势并没有立即消失,使得植物湿地 COD 去除率仍高于空白。

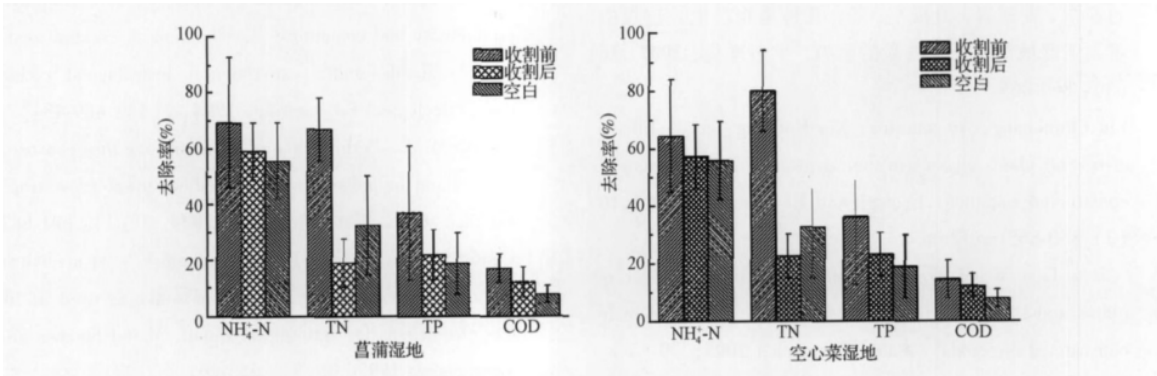


图 3 植物收割后各湿地的污染物去除率

Fig. 3 Pollutant removal efficiency of different wetlands after plant reaping

3 结 论

美人蕉湿地的 TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率最高, TN 和 COD 去除率也较高; 空心菜湿地的 TN 去除率最高, 芦竹湿地的 COD 去除率最高, 菖蒲湿地各污染指标去除率较均衡。美人蕉是一种非常适合处理微污染水体的湿地植物, 而空心菜则是一种可以兼顾农业生产和污染治理的湿地植物。

植物收割会导致湿地去污能力下降, 其中 TN 去除率下降且低于空白湿地, 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 和 COD 去除率虽出现下降但仍高于空白湿地。

参 考 文 献

- [1] 修春海, 于水利, 李玲. 不同人工湿地对微污染原水处理效果的研究. 中国给水排水, 2008, 24(23): 64-71
Xiu Chunhai, Yu Shuili, Li Ling. Different constructed wetlands for treatment of micro-polluted raw water. China Water & Wastewater, 2008, 24(23): 64-71 (in Chinese)
- [2] Yu S., Yang X., Ma Y., et al. Pretreatment effects of the Micro-polluted water supply in the reservoirs by subsurface constructed wetland. Nature and Science, 2008, 6(3): 53-58
- [3] Yang X., Yu S., Ma Y., et al. Study on the influence of wetland media on the purifying the micro-polluted raw water. The Journal of American Science, 2008, 4(2): 95-100
- [4] 徐进, 张奇, 王世和, 等. 几种植物对潜流型湖滨湿地中氮磷的处理效果比较. 生态环境, 2006, 15(5): 936-940
Xu Jin, Zhang Qi, Wang Shihe, et al. Comparison of removal effect of several macrophytes on nitrogen and phosphorus in subsurface-flow wetlands of riparian zone. Ecology and Environment, 2006, 15(5): 936-940 (in Chinese)
- [5] 刘春常, 安树青, 夏汉平, 等. 几种植物在生长过程中对人工湿地污水处理效果的影响. 生态环境, 2007, 16(3): 860-865
Liu Chunchang, An Shuqing, Xia Hanping, et al. Effects of several plants species in their growth on the treatment of constructed wetlands. Ecology and Environment, 2007, 16(3): 860-865 (in Chinese)
- [6] Vacca G., Wand H., Nikolausz M., et al. Effect of plants and filter materials on bacteria removal in pilot-scale constructed wetlands. Water Research, 2005, 39(7): 1361-1373
- [7] 徐和胜, 付融冰, 褚衍洋. 芦苇人工湿地对农村生活污水磷素的去除及途径. 生态环境, 2007, 16(5): 1372-1375
Xu Hesheng, Fu Rongbing, Chu Yanyang. Phosphorus removal from rural domestic wastewater and removal pathways analysis using reed wetlands. Ecology and Environment, 2007, 16(5): 1372-1375 (in Chinese)
- [8] 马安娜, 张洪刚, 洪剑明. 湿地植物在污水处理中的作用及机理. 首都师范大学学报(自然科学版), 2006, 27(6): 57-63
Ma Anna, Zhang Honggang, Hong Jianming. The functions and mechanisms of wetland plants in wastewater treatment. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2006, 27(6): 57-63 (in Chinese)
- [9] 张太平, 陈韦丽. 人工湿地生态系统提高氮磷去除率的研究进展. 生态环境, 2005, 14(4): 580-584
Zhang Taiping, Chen Weili. Advances in removal efficiency of nitrogen and phosphorus in constructed wetland ecosystem. Ecology and Environment, 2005, 14(4): 580-584 (in Chinese)
- [10] 缪绅裕, 陈桂珠, 黄玉山, 等. 人工污水中的磷在模拟秋茄湿地系统中的分配与循环. 生态学报, 1999, 19(2): 236-241
Miao Shenyu, Chen Guizhu, Huang Yushan, et al. Allocation and circulation of phosphorus in artificial wastewater within a simulated mangrove wetland system. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(2): 236-241 (in Chinese)
- [11] 陈文音, 陈章和, 何其凡, 等. 两种不同根系类型湿地植物的根系生长. 生态学报, 2007, 27(2): 450-458
Chen Wenyin, Chen Zhanghe, He Qifan, et al. Root growth of wetland plants with different root types. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 450-458 (in Chinese)
- [12] Siobhan F. M., Cronk J. K., Mitsch W. J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions. Ecological Engineering, 1994, 3(4): 469-484
- [13] Kaseva M. E. Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater—A tropical case study. Water Research, 2004, 38(3): 681-687
- [14] Comin F. A., Romero J. A., Astorga V., et al. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 255-261