

潜流式人工湿地在暴雨径流污染控制中应用

杨 敦, 徐丽花, 周 琪

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 采用潜流式人工湿地系统对其在处理、控制暴雨径流污染问题进行了模拟研究, 实验中人工模拟暴雨径流污染物浓度平均为 COD_{Cr} 291. 23 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、TN 26. 08 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、TP 1. 38 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。实验结果表明, 菖蒲 – 沸石湿地系统有较好的综合净化能力, 去除率平均为 COD_{Cr} 87. 13%、TN 97. 33%、TP 77. 29%。

关键词: 农业面源; 暴雨径流; 潜流式人工湿地

中图分类号: X505 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)04 – 0334 – 03

Application of Subsurface Flow Constructed Wetlands in Controlling Storm Runoff Pollution

YANG Dun, XU Li-hua, ZHOU Qi

(Institute of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In consideration of storm runoff pollution problems existing in many watersheds in our country, we utilized subsurface flow constructed wetlands to research the problems. In an experiment, the average concentrations of contaminants in artificial storm water were found to be: COD_{Cr} 291. 23 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 26. 08 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and TP 1. 38 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. According to our results from the present research, the best overall removal efficiency is found in an acorus calamus – zeolite system, having average removal rates: 87. 13% for COD_{Cr} , 97. 33% for TN, and 77. 29% for TP, respectively.

Keywords: agricultural non – point source; storm runoff; subsurface flow constructed wetland

近年来,我国太湖、滇池等流域的水体污染日益严重,而农业面源污染则是湖泊水源地的主要污染源之一。目前,降雨径流,特别是暴雨径流的面源污染,已成为湖泊富营养化控制的主要内容之一。由于暴雨产生的径流对地表有强烈的冲刷作用,加之农药化肥的使用量和土地耕作强度的逐年加大,大量污染物在暴雨径流的冲刷下从地表向湖区迁移。因此,暴雨期间,不但河流的流量变化十分迅速,而且径流中的污染物浓度远远超过非暴雨期。例如,滇池湖泊流域的大青河,暴雨期亚硝酸盐氮浓度比平时均值高 163 倍;宝条河暴雨期最大悬浮物浓度是非暴雨期的 106 倍^[1]。由于大量污染物在短期内进入湖泊,对湖泊水质产生很大影响。

针对暴雨径流中污染物浓度变化特点,采用潜流式人工湿地(SSF型人工湿地)系统对其进行模拟研究,并就湿地床的填料、植物对污染物降解所起的作用进行了分析和探讨。

收稿日期: 2001 – 10 – 14

基金项目: 滇池流域面源污染控制技术研究,国家专项科技攻关课题
作者简介: 杨 敦(1978—),男,同济大学环境科学与工程学院硕士研究生。

1 实验装置与实验内容

1. 1 填料和水生植物的选用

为研究填料、水生植物对湿地中污染物的去除所起的不同作用,在本实验中一共设计了 4 个湿地,填料选用砾石和沸石,水生植物则选用芦苇和菖蒲。具体分配见表 1。

表 1 填料及水生植物的选用

Table 1 Selection of substrate and hydrophytes in the present study

湿地编号	W1	W2	W3	W4
填料	沸石	砾石	沸石	沸石
水生植物	芦苇	芦苇	菖蒲	—

实验中的填料以吸附能力强的沸石为主,并和砾石作比较,水生植物则选用在天然湿地中常见的、生存能力较强的芦苇和菖蒲^[2]。其中芦苇为禾本科挺水植物,在我国分布较为广泛;菖蒲为天南星科挺水植物,主要分布在云南。

1. 2 水质与分析测定方法

本实验采用人工湿地模拟暴雨径流,假定降雨周期为 1 d,连续降雨,且废水在人工湿地中停留时间也

为 1 d。流量为 $0.36\text{--}0.72\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ，降雨结束后对湿地采样测试。

由于氮和磷是引起湖泊藻类大量繁殖的主要因素，从而造成水体富营养化^[3]，所以在本实验中，主要测定 COD_{Cr} 、TN、TP 三项指标。根据对滇池流域周边地区在暴雨期间的污染物测定， COD_{Cr} 、TN、TP 分别达到 $290\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $29.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，实验进水采用人工配水，加入葡萄糖、磷酸二氢钾、硝酸钾等配成。其中，采用快速法测定 COD_{Cr} 值；将废水消解后用紫外分光光度法，分别测定硝酸根离子在 220 nm 及 275 nm 波长下的吸光度而得 TN 值；采用钼锑抗光度法测 TP 的值^[4,5]。

2 实验结果与讨论

2.1 有机物的去除

4 个湿地去除 COD_{Cr} 的实验数据见图 1。

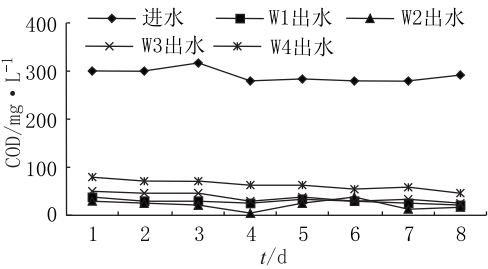


图 1 人工湿地对 COD_{Cr} 的去除效果

Figure 1 Removal efficiency for COD_{Cr} of constructed wetlands

在人工湿地系统中，污水中有些有机物吸附在可沉降颗粒上，这部分有机物主要通过沉降作用或过滤从废水中截留下来，被微生物加以利用；可溶性有机物则可通过生物膜的吸附及微生物的代谢过程被去除^[6]。反应过程中的主要氧来自于水面复氧和植物向根区的过量氧传导。

本实验 4 个湿地中，W1、W2 对 COD_{Cr} 的去除率约为 90% 左右，W3 约为 87%、W4 约为 75%。其主要原因在于芦苇的根系较菖蒲为长，可达 60 cm，所以向湿地床内输送的氧量更多，范围更广，有利于微生物的代谢。而 W4 因没有栽种水生植物，床体内部氧的量明显低于前三者， COD_{Cr} 的去除效率自然较低。

2.2 氮的去除

人工湿地去除氮的机理主要包括水生植物的吸收、微生物的硝化/反硝化脱氮和氮的挥发。研究表明，污水中无机氮作为植物生长过程中不可缺少的物质可以直接被植物摄取，合成植物蛋白质等有机物，通过植物的收割从而从污水和湿地系统中去除。但这

一部分仅占总氮量的 8%—16%，因而不是主要的脱氮过程。根据湿地植物根系的输氮及传递特性，在 SSF 型人工湿地系统中，植物根茎下形成有利硝化作用的好氧微区，同时远离根系周围的厌氧区由枯枝碎屑及底质层中可利用的碳源又提供了反硝化条件，因而在基质中形成了连续的好氧、缺氧及厌氧状态，相当于许多串联或并联的 A/A/O 处理单元，因此，人工湿地除氮的主要机理是微生物的硝化/反硝化过程^[6,7]。随植物类型的不同、根系深度不同，氮的去除有差异。4 个湿地对 TN 的去除见图 2。

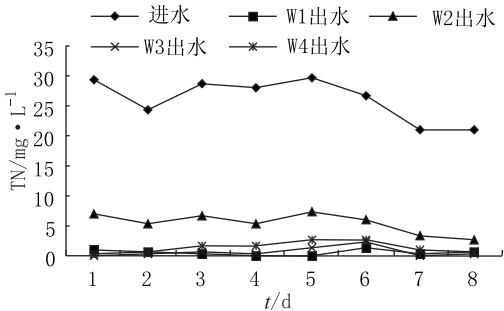


图 2 人工湿地对 TN 的去除效果

Figure 2 Removal efficiency for TN of constructed wetlands

本实验 W1、W3、W4 3 个湿地均采用对氮吸附能力强的沸石作填料。由图 2 可看出，W1、W3、W4 对 TN 的去除效果明显好于 W2(约 80%)，在 W1、W3、W4 中，由于 W1 中水生植物芦苇的根系较深，更有利于在床体内部形成效果连续的好氧、缺氧及厌氧微区，去除率可达 95% 以上(最高可达 99%)，略优于根系较浅的菖蒲—沸石系统(W3)。而不栽种水生植物的 W4，床体内部氧含量低，硝化作用相对较弱，效果约为 90% 左右，不如 W1 及 W3。

2.3 磷的去除

人工湿地对磷的去除是植物吸收、微生物去除及物理化学作用三方面共同作用的结果^[6,8]。植物吸收有限的磷并转化为 ATP、DNA 以及 RNA 等有机成分；物理化学作用包括填料对磷的吸附及填料与磷酸根离子的化学反应；微生物对磷的去除包括它们对磷的正常同化和对磷的过量积累，由于湿地中植物光合作用，光反应、暗反应交替进行，根毛输氧多少的交替出现，以及系统内部不同区域对氧消耗量的差异，导致了系统中厌氧、好氧的交替出现，使磷的过量释放和过量积累得以完成。实验结果见图 3。

W2 中填料为砾石，含有大量 Ca^{2+} ，可通过与磷酸生成不溶物而达到去除的目的，去除率在 50%—90%。而 W3 中菖蒲对磷有较强的吸收能力，去除率

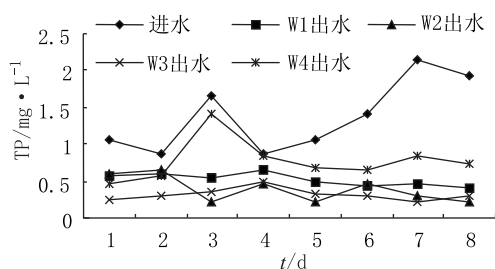


图3 人工湿地对TP的去除效果

Figure 3 Removal efficiency for TP of constructed wetlands

达50%—90%；相比较之下，芦苇对磷的吸收能力较低，W1对TP的去除率约为50%—80%。W4中由于不栽种水生植物，效果则明显低于前三者（15%—60%）。

由于农业面源具有不稳定特征，径流量和径流中污染物浓度因水文条件不同而不同，人工湿地正常运行时充分发挥湿地中生物吸收吸附作用，污染物净化效果较好。连续降雨时生物作用减弱，物理沉降作用仍很大，同样使污染物得到净化。人工湿地生物和物理作用，能够适应面源不稳定特性，对面源污染物有较好的净化作用。综合四个湿地的处理效果，可以得出：菖蒲—沸石系统（W3）具有最好的净化效果，平均去除率为 COD_{Cr} 87.13%、TN 97.33%、TP 77.29%。

3 结论与建议

四个人工湿地中，对 COD_{Cr} 、TN、TP的去除效率可达90%、95%、80%，说明人工湿地系统对控制暴雨径流产生面源污染有较好的净化作用。综合本实验中四个系统的净化效果，可得出如下结论：

（1）潜流式人工湿地系统采用沸石作填料，对氮有较好的去除效果，去除率可达到95%以上。与表面流人工湿地（FWS型人工湿地）相比，有较好的污染物去除效果，而且SSF型湿地很少产生恶臭及蚊蝇孳生问题。

（上接第324页）

理，使莴笋叶及茎水溶性糖、叶氨基酸和维生素C含量分别增加12.7%、6.9%、22.6%、47.2%，但使生菜水溶性糖、氨基酸、维生素C含量降低11.6%、1.6%、0.8%。可见，营养液中氮、钾配合比例对蔬菜产量、品质影响很大，单一施用高钾量，不一定能提高作物品质，只有适宜氮、钾配比才能达到蔬菜的高产、优质。

参考文献：

[1] 张春兰，高祖明，张耀东，唐为民．氮素形态和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$

（2）通过栽种水生植物，如芦苇、菖蒲，可提高湿地系统对有机物的去除率，通过实验得出，有植物系统的净化效果明显好于无植物系统。芦苇是经济作物，有较高的利用价值，在我国分布广泛，所以将芦苇作为人工湿地系统水生植物栽种是一种较为理想的方案。

（3）砾石床系统对磷有较好的净化效果，菖蒲作为水生植物，对磷也具有较强的吸收能力，建议将二者结合使用，用于处理含磷量较高的废水。

本实验中，菖蒲—沸石系统具有最好的综合净化能力，对于处理农业暴雨径流污染物有较好的去除效果。由于潜流式人工湿地系统基本不需耗能，因此运行费用极低。除占用土地稍多外，综合其他费用的分析，可以看出人工湿地处理水质水量波动较大的暴雨径流农田废水，有较强的适应能力，是控制暴雨径流面源污染，尤其是重污染农业区污染的有效技术手段，具有良好的推广应用前景。

参考文献：

- [1] 杨具瑞，等．湖泊暴雨径流水质模拟研究[J]．环境科学学报，1999，19(1):37—41.
- [2] 赵 晟，等．滇池水生植物研究概述[J]．云南环境科学，1999，18(3):4—8.
- [3] 高廷耀，顾国维．水污染控制工程[M]．北京：高等教育出版社，1999.
- [4] 陈若敦，等．环境监测实验[M]．上海：同济大学出版社，1993.
- [5] 奚旦立，等．环境监测[M]．北京：高等教育出版社，1995.
- [6] 吴晓磊．人工湿地废水处理机理[J]．环境科学，1995，16(3):83—86.
- [7] F A Comin, J A Romero, V Astorga, C Garcia. Nitrogen Removal and Cycling in Restored Wetlands Used as Filters of Nutrients for Agricultural Runoff[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 35(5): 255—261.
- [8] J N Carleton, T J Grizzard, A N Godrej, H E Post. Factors Affecting the Performance of Stormwater Treatment Wetlands[J]. *Wat Res*, 2001, 35(6): 1552—1562.
- [9] 郑雅杰．人工湿地系统处理污水新模式的探讨[J]．环境科学进展，1995，3(6):1—8.

配比对菠菜生长和品质的影响[J]．南京农业大学学报，1990，13(3):70—74.

- [2] 田霄鸿，李生秀．几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力[J]．植物营养与肥料学报，2000，6(2):194—201.
- [3] 孙 羲．农业化学[M]．上海：上海科技出版社，1980. 110—111，171.
- [4] 连兆煌．无土栽培原理与技术[M]．北京：中国农业出版社，1996. 57—59.
- [5] 白宝章，汤学军．植物生理学测试技术[M]．北京：中国科学技术出版社，1993. 23—24.
- [6] 南京农业大学主编．土壤农化分析(第二版)[M]．北京：农业出版社，1988. 36—60, 73—99, 230—280.