

复合生态床修复北方景观水体的影响因素研究

丛科明¹, 刘书宇^{1,2}, 王立¹, 马放¹, 任南琪¹

(1 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090

2 上海大学 环境与化学工程学院, 上海 201800)

摘要: 采用以沸石和煤渣为基质的复合生态床修复北方微污染景观水体, 考察了水力停留时间、温度、植物等因素对修复效果的影响。结果表明, 当水力停留时间由 1 h 增至 4 h 时, 系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的去除率分别由 91.5%、31.8% 提高至 98%、52.5%; 当温度下降时, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的总体去除效果无明显变化, 对 TP 的去除率则明显降低; 在床体表面种植植物能够提高系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 和 TOC 的去除效果。

关键词: 生态床; 景观水体; 沸石; 温度; 水力停留时间

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2009)13-0077-03

Influencing Factors of Northern Landscape Water Remediation by Compound Ecological Filter Bed

CONG Ke-ming¹, LIU Shu-yu^{1,2}, WANG Li¹, MA Fang¹, REN Nan-qi¹

(1 State Key Laboratory of Urban Water Resources and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090 China; 2 School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800 China)

Abstract The compound ecological filter bed with zeolite and coal cinder as media was applied to remedy the northern landscape water. The effects of hydraulic retention time (HRT), temperature and plants on remediation efficiency were investigated. The results show that when HRT increases from 1 h to 4 h, the removal rates of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TP increase from 91.5% and 31.8% to 98% and 52.5% respectively. With the temperature decreasing, the removal efficiency of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ has no significant change, while the removal rate of TP decreases significantly. Planting on the compound ecological filter bed can improve the removal efficiencies of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP and TOC.

Key words ecological filter bed; landscape water; zeolite; temperature; hydraulic retention time

以沸石和煤渣为主要基质的新型复合生态床是一种有效的景观水体修复技术, 其主要作用机理是物理吸附、化学沉淀和生物降解^[1]。运行过程中, 物理、化学及生物净化过程受多种因素影响, 如温

度、水流流态、基质的组成及布设方式等^[2]。目前有关生态床的研究多为对城市污水的处理, 而关于景观水体修复的研究较少。因此, 笔者在采用复合生态床修复北方景观水体获得较好效果的基础上,

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2004CB418505); 国家自然科学基金资助项目 (50778052, 50809020); 城市水资源与水环境国家重点实验室自主课题 (2008ts03)、开放课题 (HC200816)

进一步探讨了修复过程中的影响因素,旨在为实际运行过程中的工艺设计及运行方式提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验装置

复合生态床的结构见图 1。床体尺寸为 1 500 mm × 400 mm × 300 mm。基质选取沸石与煤渣,其中沸石为主要基质,煤渣作为底层基质主要用于吸附水体中的磷。生态床表面铺设细砂,床体中间设有隔板,使水流形式为下向流-上向流,以延长污染物与基质的接触作用时间。试验共设两组平行系统,对比分析有、无植物对复合生态床修复景观水体的影响。受试植物为具有较强 N、P 吸收能力的景观植物鸭跖草 (*Cannellina communis* L.)。

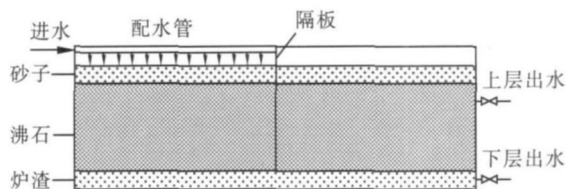


图 1 复合生态床的结构

Fig 1 Schematic diagram of compound ecological filter

1.2 试验方法

控制进水流量使水力停留时间 (HRT) 分别为 1、2、4 h, 系统白天运行、夜晚关闭, 每 12 h 取一次水样。试验用水取自太阳岛景观湖, 其 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 3.61~4.43 mg/L (均值为 3.94 mg/L), TP 为 0.08~0.22 mg/L (均值为 0.17 mg/L), 超过了《景观娱乐用水水质标准》(GB 12941—91) 规定的限值。

1.3 分析项目与方法

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$: 纳氏试剂分光光度法; TN: 总氮分析仪; TOC VCPN 有机碳分析仪; TP: TP-OES 分析仪。

2 结果与讨论

2.1 水力停留时间对污染物去除效果的影响

考察了 HRT 分别为 1、2、4 h 时复合生态床对景观水体的修复效果。结果表明, 随着 HRT 的延长, 复合生态床对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的去除率均呈增加趋势。其中, 生态床对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果较好, 当 HRT 由 1 h 增至 4 h 时, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率由 91.5% 增至 98%, 此时的出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 0.049 mg/L, 远低于《景观娱乐用水水质标准》(GB 12941—91) A 类的限值 (0.5 mg/L)。复合生态床

对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除途径主要为基质的吸附和微生物的硝化转化。试验中发现, 复合生态床在短时间内对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果显著, 随着接触时间的延长, 去除率虽有增加, 但增幅并不显著。这表明, 沸石作为生态床的主要基质, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 有较强的选择性吸附作用, 这一吸附过程在短时间内即可完成。HRT 对复合生态床去除 TP 的影响较明显, 当 HRT 由 1 h 增至 4 h 时, 对 TP 的去除率由 31.8% 提高到 52.5%, 这是由于对 TP 的去除主要靠下层煤渣的吸附交换以及与基质中的 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生化学反应来完成, 此过程较缓慢^[3,4], 水体与基质的接触时间越长, 对 TP 的去除效果就越好。因此, 对于以磷为主要污染物的景观水体, 应考虑适当延长水体在生态床内的停留时间, 以保证对污染物的有效去除。

2.2 温度对污染物去除效果的影响

景观水体属自然水体, 经历季节性环境温度的变化, 由于我国北方地区的季节性温度变化较大, 这对复合生态床系统功能的发挥以及景观水体的水质等都将产生影响。

试验结果表明, 当温度由 15~25 °C 下降至 0~5 °C 时, 系统在短时间内对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率有所降低, 而在 24 h 和 48 h 内的去除率几乎无变化。这是因为对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的总体去除效果主要与沸石吸附的饱和容量和交换容量有关, 而这受温度的影响较小。但是, 低温会降低对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的短时去除效果。因此, 对于以氨氮为主要污染物的景观水体, 在寒冷季节可通过延长水体与基质的接触时间来保证对污染物的有效去除。

随着温度的降低, 对 TP 的短时去除率无明显变化, 但 24 h 和 48 h 时的去除率明显降低; 在整个运行过程中, 对 TP 的平均去除率由 15~25 °C 时的 63.47% 降至 0~5 °C 时的 53.03%, 这是由于煤渣对 PO_4^{3-} 的吸附受温度影响较明显。当温度降低时, 磷的释放活性降低, 与基质中 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等结合的几率也随之降低。因此, 对于以磷为主要污染物的景观水体, 可以在修复系统的基质中布设保温性能良好的填充材料, 以在环境温度降低时也能保持较高的 TP 去除率。

2.3 植物对污染物去除效果的影响

2.3.1 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

氨氮污染已成为我国景观水质下降和水生态系

统退化的重要因素之一。试验结果表明,随着时间的延长,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率呈先加速下降而后趋于平缓的趋势,符合对数曲线 $y = a + b \ln x$ 的变化规律(见图 2),其中 b 为曲线的斜率,亦即系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除速率。由曲线的拟合方程参数可知,有植物的复合生态床对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率和去除速率均好于无植物的复合生态床,且两者的去除效果差异达到显著性水平 ($p < 0.05$)。相对于其他营养盐,氮对植物的生理影响较为显著,尤其是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,是可被植物直接吸收利用的无机氮素。以上分析表明,复合生态床中除了沸石对氨氮的吸附去除外,植物根系的吸附与吸收作用对氨氮的去除同样具有重要作用。

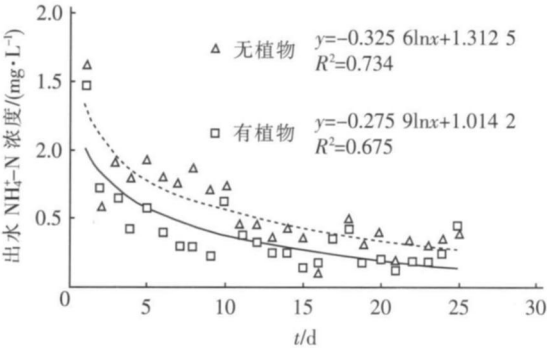


图 2 植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig. 2 Effect of plant on $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal

2.3.2 对 TP 去除效果的影响

试验结果表明,系统对 TP 去除率的变化规律与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的类似,但其去除速率明显低于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的。有植物与无植物对 TP 的去除效果无显著差异 ($p > 0.05$),但有植物的系统出水 TP 浓度始终略低于无植物系统的。这是由于植物根系对磷具有吸收及过滤截留作用,且根系分泌物中的酸性磷酸酶会分解部分有机磷,从而有利于基质对磷的交换吸附及微生物的转化。

2.3.3 对有机物去除效果的影响

试验结果表明,有植物的生态床系统对 TOC 的去除率为 15.8%,而无植物的系统对 TOC 的去除率

为 14.2%,说明植物的存在可促进系统对有机污染物的去除。分析原因是:其一,根系吸收部分有机碳供植物生长合成自身物质;其二,根系在有氧环境下可促进基质内硝化作用的进行,而硝化作用需要部分碳作为电子受体;另外,根系的分泌物及对基质微环境的活化有利于微生物对有机物的分解,使之以 CO_2 的气态方式从系统中逸出。植物协同根际微生物的共同作用实现了对 TOC 的有效去除。

3 结论

① HRT 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响较小,而对 TP 去除效果的影响较明显;当 HRT 由 1 h 增至 4 h 时,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的去除率分别由 91.5%、31.8% 增至 98%、52.5%。

② 低温对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的总体去除效果影响不大,但会降低 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的短时去除速率;系统对 TP 的去除效果随温度的降低而明显下降,受温度的影响相对较大。

③ 在复合生态床体的表面种植植物能够提高系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 和 TOC 的去除效果。

参考文献:

[1] 刘书宇,马放. 水循环周期对生态床内氮形态转化过程的影响[J]. 环境科学, 2007, 28(5): 1006-1010

[2] 袁东海,景丽洁,高士祥,等. 几种人工湿地基质净化磷素污染性能的分析[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 51-55

[3] Kirk D W, Jia C Q, Yan J Y, et al. Wastewater remediation using coal ash[J]. J Mater Cycles Waste Manage, 2003, 5(1): 5-8

[4] Bubba M D, Arias C A, Brix H. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds as measured by the Langmuir isotherm[J]. Water Res, 2003, 37(14): 3390-3400

电话: (0451) 86282107
E-mail: mafang@hit.edu.cn
收稿日期: 2009-02-14