文章编号:1672 - 058X(2011)05 - 0543 - 04

基质对人工湿地脱氮除磷效果影响研究 *

王晓雪[1], 李　杰[2], 钟成华[1], 刘　洁[1], 夏晓芳[1]
(1. 重庆工商大学 环境与生物工程学院,重庆 400067;2. 重庆市南岸区环境监测站,重庆 400060)

摘　要:构建了粉煤灰 + 石灰石混合基质床人工湿地处理养殖废水,并与石灰石单一基质床相比较,结果表明,粉煤灰是一种磷吸附能力很强的基质,在人工湿地中填充粉煤灰和石灰石组成的混合基质可以明显提高磷去除效率,而且粉煤灰还可以作为碱源供应碱而有利于氮的去除;磷素在人工湿地中的主要去除机理是基质吸附,因此加大基质填充深度增加基质填充量可以明显提高磷的去除;而氨氮的主要去除机理为硝化/反硝化反应,湿地内部溶解氧是限制其去除的关键因素,因此增加基质填充高度虽然能增强反硝化作用,但不能增加复氧而强化硝化作用,故对氨氮的去除影响很小。

关键词:混合基质;人工湿地;脱氮除磷
中图分类号:O599　　**文献标志码**:A

人工湿地(constructed wetlands)指为了人类的利用和利益,通过模拟自然湿地,人为设计与建造的由饱和基质、挺水与沉水植被、动物和水体组成的复合体[1]。人工湿地作为完整的生态系统,主要包括基质、植物、微生物和水体四要素。其中人工湿地中基质又被称为填料,基质不但为植物及微生物生长提供了重要的生长场所,同时对污染物尤其是磷的去除起着重要的作用[2]。因此,根据理化特性选择合适的基质材料构建人工湿地,是提高湿地脱氮除磷效果的重要措施。研究以粉煤灰 + 石灰石混合基质为研究对象,研究了对人工湿地脱氮除磷的效果,且与石灰石单一基质进行了比较。另外还研究了不同基质填充深度对氮、磷去除效果的影响。

1　材料与方法

1.1　实验材料

构建了厌氧池 + 人工湿地 + 生物塘系统用于牛养殖场混合废水处理[3]。其中人工湿地为四级波式流人工山地湿地,每一级由两个并联床体组成,通过在床体内部设置隔板使每个床体分成六格,每格尺寸 $1 \times 0.6\ m^2$,每一级总面积为 $7.2\ m^2$。第二级湿地其中一个床体填充石灰石和粉煤灰 2∶1组成的混合基质(床体编号为 2nd - M),另一个床体填充单一的石灰石基质作为对比(床体编号为 2nd - S),填充深度为 0.4 m,种植风车草;第三级湿地其中一个床体填充石灰石和粉煤灰 1∶1组成的混合基质(床体编号为 3rd - M),另一个床体同样填充单一的石灰石基质作为对比(床体编号为 3rd - S),填充深度为 0.8 m,种植美人蕉。

1.2　测定方法

在运行期间,受降雨等因素影响,进水量在 $2.8 \sim 9.0\ m^3/d$ 之间波动,但大部分时间进水量比较稳定,约为 $6\ m^3$/天。在 5-9 月期间,分别监测了第二、三级人工湿地并联床体进水和出水的 N、P 浓度。其中 TN 采用碱性

收稿日期:2010 - 03 - 05;**修回日期**:2010 - 09 - 25.
* **基金项目**:重庆市科技攻关计划项目资助(CSTC,2009AD7204).
作者简介:王晓雪(1984 -),女,河北张家口人,硕士研究生,从事水污染控制研究.
通讯作者:钟成华(1960 -),男,四川乐山人,教授,从事水污染防治理论与技术研究.

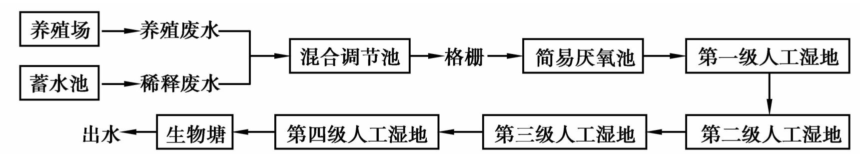

图 1　废水处理工艺流程

过硫酸钾消解紫外分光光度法,NH_4^+ -N 采用纳氏试剂分光光度法,TP 采用钼酸铵分光光度法[4]。

2　实验结果

2.1　除磷效果比较

研究结果表明,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)床比只采用单一基质(石灰石)床的除磷效果要好。其中,在第二级人工湿地,混合基质床体(粉煤灰 + 石灰石)对磷的去除率为 17% ~27%,单一基质(石灰石)床对磷去除率只有 9% ~15%,因此,混合基质床相比单一基质床磷去除率高 6% ~12%;在去除负荷量方面,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)去除负荷为1.7 ~2.7g/m^2/d,比石灰石单一基质床体去除负荷高 0.6 ~1.2 g/m^2/d;在第三级人工湿地,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)床体磷去除率为 40% ~46%,去除负荷为 3.2 ~3.7 g/m^2/d,与单一基质床相比,磷去除率高 11% ~24%,去除负荷高 1.0 ~1.9 g/m^2/d。单一基质(石灰石床体)和混合基质(粉煤灰 + 石灰石床体)对除磷效果的比较(如图 2)。

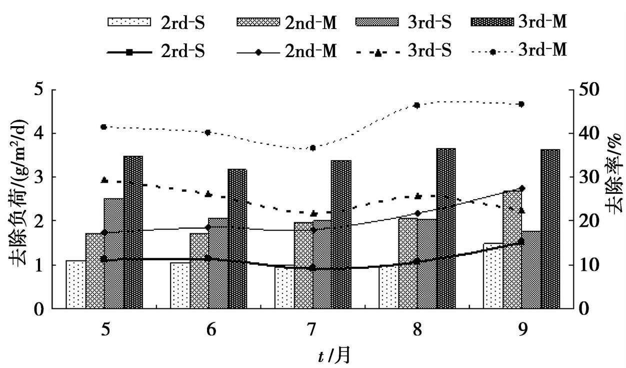

图 2　不同基质床体总磷去除效果比较

2.2　脱氮效果比较

研究基质对氮的去除的影响,从图 3 和图 4 可以看出,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)床和单一基质(石灰石)床并列床体间对总氮和氨氮去除效果差异不是很明显,但总体上混合基质床体对氮去除率略高。在第二级湿地中,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)床体对氨氮去除率为 23% ~30%,总氮去除率为 20% ~37%,而单一基质(石灰石)床体氨氮去除率只有 18% ~24%,总氮去除率为 18% ~30%。此外,在去除负荷方面,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)氨氮去除负荷量为 20.0 ~26.7 g/m^2/d,,总氮去除负荷为 18.3 ~31.7 g/m^2/d,比单一基质(石灰石)床氨氮去除负荷高 0 ~6.7 g/m^2/d,总氮去除负荷高 1.7 ~6.7 g/m^2/d。在第三级湿地,混合基质(粉煤灰 + 石灰石)床体对氨氮和总氮的去除率分别为 39% ~45% 合 35% ~41%,去除负荷为分别为 23.3 ~31.7 g/m^2/d 和 21.7 ~30.0 g/m^2/d,与单一基质(石灰石)床体相比,氨氮和总氮去除率分别高了 5% ~13% 和 3.3 ~8.3 g/m^2/d,去除负荷分别高了 3% ~10% 和 1.7 - ~6.7 g/m^2/d。

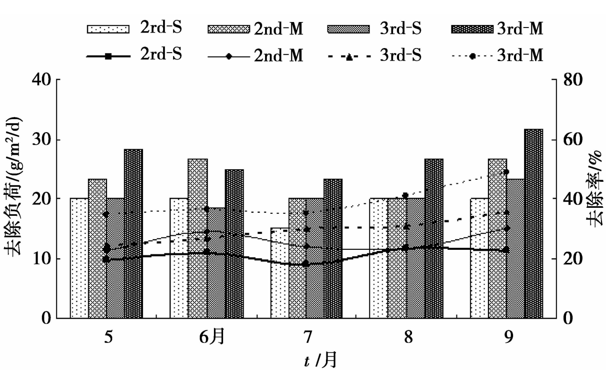

图 3　不同基质床体氨氮去除效果比较

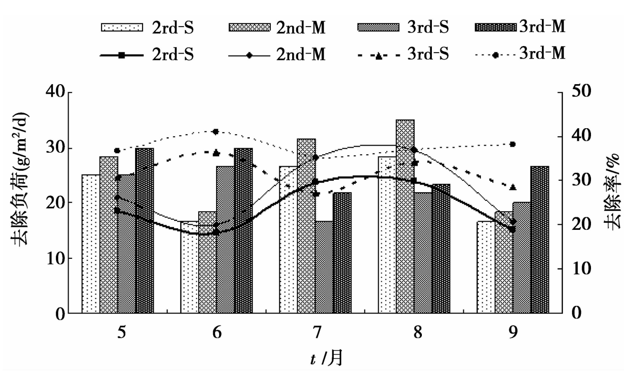

图 4　不同基质床体总氮去除效果比较

3 讨论与分析

3.1 添加粉煤灰对除磷效果的影响

混合基质(粉煤灰+石灰石)床对磷的去除率和去除负荷均要高于单一基质(石灰石)床。根据静态吸附试验表明,粉煤灰是一种富含钙、铝、铁元素的工业废渣,其对磷的吸附具有较大的最大吸附量、表面吸附强度因子和最大缓冲能力,是一种具有良好磷吸附能力的基质[5]。因此,与单一基质(石灰石)相比,混合基质(粉煤灰+石灰石)对磷的去除作用更加明显,且混合基质(粉煤灰+石灰石)中粉煤灰所占的比例与对磷的去除效果在一定范围内成正比例关系。如第三级人工湿地和第二级人工湿地中混合基质(粉煤灰+石灰石)床中粉煤灰所占比例分别为50%和33%,相应的第三级人工湿地比第二级人工湿地的去除负荷量也有所提高。因此,在处理高磷污水时,可以通过增加粉煤灰的填充比例来优化基质搭配,从而提高磷的去除率。此外,对于粉煤灰的填充比例也要控制在一定的范围内,防止因粉煤灰填充过多而导致床体堵塞。

3.2 添加粉煤灰对除氮效果的影响

氨氮在人工湿地中最主要的去除途径是硝化/反硝化反应,其中硝化反应适宜的 pH 值为 7~8,反硝化反应适宜的 pH 值为 6.5~7.5[6]。结合实验,混合基质(粉煤灰+石灰石)床氨氮去除效果高于单一基质(石灰石)床的重要原因在于碱的供应量。在硝化/反硝化反应中,每转化 1 gNH_4^+-N 成 NO_3^--N,需要消耗 7.14 g 碱(以 $CaCO_3$ 计),每反硝化 1 gNO_3^--N 成 N_2,会产生 3.0 g 碱(以 $CaCO_3$ 计)。因此,粉煤灰的添加在除氮过程中起着调节碱量的重要作用。

3.3 基质填充量对脱氮除磷效果的影响

根据实验结果可知,不论是混合基质(粉煤灰+石灰石)床还是单一基质(石灰石)床,基质填充量与对磷吸附量在一定范围内均成正比例关系。而对于氮的去除率则与基质的填充方式有关,主要是看进水氮素为何种形态。增加基质填充量有两种方式,一是床体面积不变,增大基质填充深度,二是基质填充深度不变,增大床体面积。当进水以氨氮为主要形态时,宜采用增大床体面积的方式,增加植物种植量和植物根系复氧量,强化硝化/反硝化反应,实现氮和磷的高效去除。当进水氮素以硝态氮为主,则不需进行好氧硝化反应时,宜采用增加基质填充深度的方法来提高脱氮除磷的效果。

4 结 论

研究结果表明,粉煤灰是一种富含钙、铝、铁的工业废渣,具有良好的磷吸附能力,还可以作为碱源供应碱而有利于氮的去除,而且是一种廉价易得的工业废渣,因此是一种优良的人工湿地基质,值得推广应用。其混合基质(粉煤灰+石灰石)和单一基质(石灰石)床,相比,磷去除效果明显增加,氮去除效果也略有提高。

由于不同的基质具有不同的孔隙度、复氧能力、氮磷去除能力,因此根据污水中的污染物的种类、特征可以选取不同的基质或采取几种基质的组合成为趋势。但在实际应用中要综合考虑进水水质、植物生长、磷吸附效率、水力传导性、材料易得性、价格等因素,进行合理选用、搭配。如在研究中,虽然填充粉煤灰可以提高脱氮除磷效果,但并没有把粉煤灰作为单一基质床,而是把它和其他基质按一定的比例组成混合基质,主要是为了防止粉煤灰因粒径较小,比例过高时导致孔隙度太小而堵塞床体。

提高基质填充深度、增大基质填充量可以显著提高磷的吸附去除量,但对氮的去除则因情况而异。如果进水主要以氨氮为主,易采用增大床体面积的方式,若进水氮素以硝态氮为主,则以采取增加基质填充高度的方式来提高脱氮除磷的效果。

参考文献:

[1] HAMMER D A. Constr Ucted wetlands for wastewater treatineni [M]. MunieiPal Industrialand Aghcultoral: LewisPublishersIne, 1989:5-20

[2] 汤显强, 黄岁樑. 人工湿地去污机理及国内外应用现状[J]. 水处理技术, 2007, 33(2):9-13

[3] 李杰,钟成华,邓春光. 厌氧池/人工湿地/生物塘系统处理奶牛养殖场废水[J]. 中国给水排水,2008,24(9):83-85

[4] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002

[5] 李杰,钟成华,邓春光,等. 几种土壤与工业废渣的磷吸附特性研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2008(7):42-46

[6] 王爱萍,周琪. 人工湿地污水的研究[J]. 四川环境,2005,24(2):76-80

Study of the Effect of Substrata on Removing Nitrogen and Phosphorus in Constructed Wetland

WANG Xiao-xue[1], LI Jie[2], ZHONG Cheng-hua[1], LIU Jie[1], XIA Xiao-fang[1]

(1. School of Environment and Bioengineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;
2. Environment Protection Bureau of Nanan District, Chongqing 400060, China)

Abstract: Constructed wetland treatment of wastewater is conducted by mixed substrata bed of fuel ash plus limestone and its effect is compared with simple substratum bed of limestone. The results show that fuel ash is a strong matrix for absorbing phosphorus, that mixed substrata in constructed wetland stuffed with fuel ash and lime stone can obviously enhance efficiency for removing phosphorus while fuel ash can be used as alkali supply for nitrogen removal, and that the main phosphorus removal mechanism in constructed wetland is substrata adsorption, so increasing the amount of matrix by raising packing depth can significantly improve the removal effect of phosphorus. Because the main ammonia nitrogen removal mechanism is nitrification-denitrification, dissolved oxygen in constructed wetland is the key factor to restrict ammonia nitrogen removal, although raising packing height of the matrix can reinforce denitrification, the oxygen supply can not be increased to consolidate nitrification, thus, it has little effect on ammonia nitrogen removal.

Key words: mixed substrata; constructed wetland; removal of nitrogen and phosphorus

责任编辑:田　静