

不同人工湿地填料对水体中 总磷的吸附特性分析

邹新¹, 简敏菲², 史晓燕^{1*}, 徐鹏飞², 周雪玲²

(1. 江西省环境保护科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 江西师范大学 生命科学学院/江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 江西 南昌 330022)

摘要:采用等温吸附、吸附动力学实验研究泥灰页岩、黑色页岩、蜂窝煤渣和河砂的吸附特征。结果表明: 4 种不同填料对磷的吸附量均随着起始浓度的增大而增大, 蜂窝煤渣和泥灰页岩对磷的吸附量明显大于河砂和黑色页岩。在吸附动力学实验中, 分析吸附动力学曲线表明: 填料对磷素的吸附动力学具有相似的特征, 即经过快、中、慢的反应阶段并最终达到平衡。4 种填料对于磷素的吸附量由大到小依次为蜂窝煤渣、泥灰页岩、河砂、黑色页岩。比较实验结果, 蜂窝煤渣和泥灰页岩比较适合作为除磷的人工湿地填料。

关键词:人工湿地; 填料; 磷素; 吸附特性

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2011) 06 - 1248 - 04

The Phosphorus Adsorption Characteristics of Different Fillings in Artificial Wetland

ZOU Xin¹, JIAN Min-fei², SHI Xiao-yan^{1*},
XU Peng-fei², ZHOU Xue-ling²

(1. Jiangxi Academy of Environment Science, Nanchang 330029, China; 2. College of Life Science, Jiangxi Normal University, Jiangxi Provincial Key Lab of Protection and Utilization of Subtropical Plant Resources, Nanchang 330022, China)

Abstract: In this study, the phosphorus adsorption characteristics of four fillings included slimy shale, black shale, honeycomb cinder and river sand which were used in the constructed wetland were studied by isothermal adsorption experiment and adsorption kinetics experiment. The results of the isothermal adsorption experiment showed that the phosphorus adsorption capacity of the four fillings increased as the initiative concentration of the phosphate increased, and the phosphorus adsorption capacity of slimy shale and honeycomb cinder was much larger than that of black shale and river sand. In the experiment of adsorption kinetics, the results of the curve indicated that the characteristics of the phosphorus adsorption kinetics in the four kinds of fillings were the same. At the beginning time the phosphorus was absorbed very fast in the different fillings and then slow down until the adsorbance reached the adsorption equilibrium. The order of the phosphorus adsorption capacity in the four fillings was that honeycomb cinder > slimy shale > river sands > black shale. The results indicated that the efficiency of honeycomb cinder and slimy shale were much better than that of the other two fillings when being used in removal phosphorus.

收稿日期: 2011 - 09 - 23 修回日期: 2011 - 11 - 01

基金项目: 江西省教育厅科研计划项目(GJJ10403)、江西省科技厅科技支撑项目(赣科技字[2008]188号)、水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07211-001)和江西省科技厅节能减排技术示范工程(2010AE00700)

作者简介: 邹新(1974—)男, 高级工程师, 主要从事环境影响评价研究, E-mail: zouxin03@sina.com; * 通讯作者: 史晓燕, 副研究员, 博士, E-mail: jianminfei0914@163.com。

Key words: artificial constructed wetland; fillings; phosphorus; adsorption characteristics

人工湿地(constructed wetlands)是由人工建造和控制运行的与沼泽地类似的地面,将污水、污泥有控制地投配到经人工建造的湿地上,污水与污泥在沿一定方向流动的过程中,主要利用土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用,对污水、污泥进行处理的生物-生态修复技术^[1]。其作用机理和去除途径与天然湿地相似,能够利用“基质-微生物-植物”这个复合生态系统的物理、化学和生物的重三重协调作用,通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物分解来实现对废水的高效净化,同时通过营养物质和水分生物地球化学物质循环,促进绿色植物生长并使其增产,实现废水的资源化与无害化^[2-3]。目前,构建人工湿地已成为城镇生活污水处理的一种重要方法而被广泛应用^[4-5]。而填料是人工湿地工程处理系统的重要基质与载体,能够有效地去除水体中的有机悬浮物和无机盐类^[6]。人工湿地处理系统中磷的分布途径主要有微生物的积累、植物的吸收和基质的物理化学作用等,其中主要是填料对磷的吸附作用,包括物理吸附、化学吸附和交换吸附^[7-8]。但是随着时间的延长,填料吸附磷的吸附能力逐渐饱和,“去除”效果逐渐变差,所以选择磷吸附特性良好的填料成为人工湿地处理系统中磷“去除”的关键^[9-10]。近年来,一些通透性好、比表面积大、具有吸附能力的多孔填料(如土壤、砂粒、砾石、岩石、矿渣、煤渣、火山渣等)得到广泛应用^[11-13],被填充和掺加到人工湿地系统中,能大大提高氮、磷等污染物的去除效果。因此,选择适当的填料是保证人工湿地具有良好除磷能力的关键。本研究以江西常见的两种沉积岩及蜂窝煤渣和河砂等4种材料为研究对象,对其磷吸附特性进行研究,旨在筛选出合适的人工湿地填料,为选择适合当地实际情况的人工湿地基质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验仪器

京制00000249型电子称量秤、UV-2100型紫外-可见光分光光度计(UNICO公司)、WGL-45B型鼓风干燥箱、TGL-16G型高速台式离心机、WXJ-III型微波闭式消解仪、SCS-24型温控培养摇床、美国Varian(瓦里安)公司725-ES等离子体发射光谱仪、BELSORP-mini II比表面积和孔径测定仪、日本HORIBA公司LA-950型激光散射粒度分布分析仪。

1.2 填料物理性质及其元素分析测定

本实验供试的填料主要有采自江西赣州市的2种沉积岩,经鉴定分析主要为泥灰岩和黑色页岩,属江西本土常见的2种沉积岩;另两种填料为常见的蜂窝煤渣和河砂等,分别采自江西师范大学校园内。以上填料均通过60目孔径筛子,并在105℃下干燥2h。采用美国Varian(瓦里安)公司725-ES等离子体发射光谱仪对不同填料进行元素分析;采用BELSORP-mini II比表面积和孔径测定仪测定填料比面积;采用日本HORIBA公司LA-950型激光散射粒度分布分析仪测定填料粒度。

1.3 磷的等温吸附实验

称取105℃下烘干2h过60目的填料5g于100mL锥形瓶中。分别加入不同质量浓度的 KH_2PO_4 标准溶液20mL。分别在各离心管中加入2滴氯仿抑制微生物活动在25℃170r/min下恒温振荡24h,静置30min后,以3000r/min离心10min,采用过硫酸钾消解法和分光光度法测定测定其上清液中的 $\text{TP}^{[14]}$,重复3次。

1.4 不同填料的吸附动力实验

称取在105℃下烘干2h过60目的填料10g于100mL离心管中。和20mL浓度为100mg/L的 KH_2PO_4 溶液,分别25℃170r/min下恒温振荡,在2,4,8,12,18,30,36,48h时用3000r/min离心,测P的测定方法与2.3相同,重复3次。

2 结果与分析

2.1 填料的元素组成及物理性质

4种填料的主要矿质元素组成如表1。以上2种页岩中,泥灰岩的Ca质含量最高,超出25%,为过渡泥灰岩类;黑色页岩中的Si质含量最高;蜂窝煤渣与河砂也是以Si质含量最高。4种填料的物理性质如表2。

表1 4种填料的主要矿物质元素含量

Tab.1 Chemical elements content of the four fillings

%

填料名称 Filling name	化学元素 Chemical elements						
	Fe	Al	Si	Mg	Ca	K	Na
泥灰页岩 Slimy shale	0.131	0.295	0.536	6.723	33.351	0.0208	0.039
黑色页岩 Black shale	7.531	7.016	21.640	3.951	5.995	0.878	1.340
蜂窝煤渣 Honeycomb cinder	3.527	13.960	21.770	0.464	2.114	2.108	0.627
河砂 River sand	1.313	4.340	29.560	0.175	0.144	2.701	0.235

表2 4种填料的物理性质

Tab.2 Physical properties of the four fillings

填料名称 Filling name	粒径/目 Granular diameter	平均孔径/nm Mean aperture	比表面积/(m ² ·g ⁻¹) Specific area	孔隙率/% Porosity	干容重/(g·cm ⁻³) Dry capacity
泥灰页岩 Slimy shale	60	1.788	0.286	48.32	7.834
黑色页岩 Black shale	60	2.106	0.128	50.24	1.481
蜂窝煤渣 Honeycomb cinder	60	2.024	0.279	43.21	0.709
河砂 River sand	60	1.952	0.775	58.62	2.646

2.2 不同填料的等温吸附实验结果及分析

在等温吸附实验中,以梯度浓度的磷酸盐为横轴,以每千克填料对于磷素的吸附量为纵轴,得到图1。

由图1看出,4种不同填料对磷的吸附量均随着起始浓度的增大而增大,供试填料对磷的吸附量泥灰页岩和蜂窝煤渣对磷的吸附效果明显好于黑色页岩和河砂。河砂又明显好于黑色页岩。在供试磷溶液质量浓度最高为150 mg/L时,泥灰页岩和蜂窝煤渣仍表现出较强的磷素吸附量,而黑色页岩和河砂的吸附则基本趋于平衡。

从水体中磷的不同初始浓度条件下填料对磷的去除率来分析,以梯度质量浓度的磷酸盐为横轴,以对磷素的去除率为纵轴,可得到图2。

在低于50 mg/L的质量浓度下,随着质量浓度的升高,各填料去除率会迅速上升,以蜂窝煤渣填料中上升最快,且达到平衡的去除率最高。

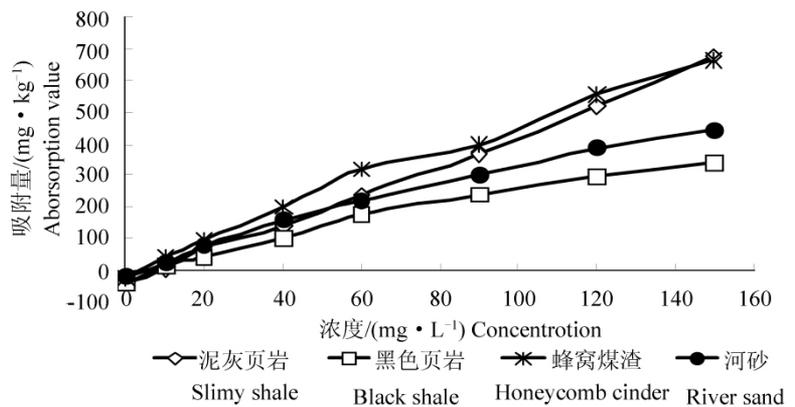


图1 4种填料对总磷的等温吸附曲线

Fig.1 The phosphorus adsorption isotherm curve of four fillings

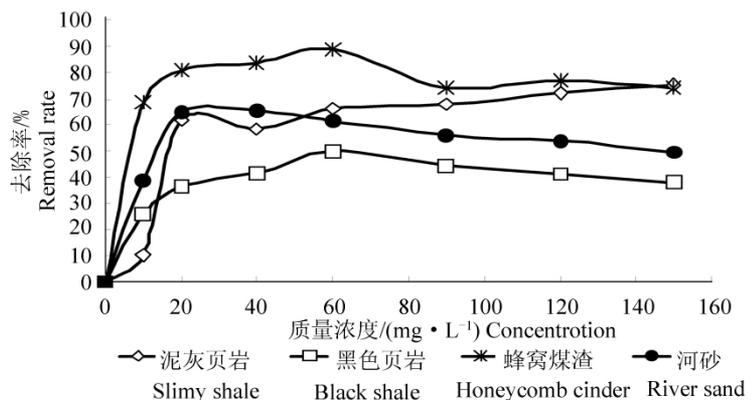


图2 磷酸盐初始质量浓度对磷去除率的影响

Fig.2 Effect of initial concentration on efficiency of phosphorus removal

2.3 吸附动力实验

以时间作为横轴,以4种填料每千克对磷素的吸附量作为纵轴,得到图3。

由图可见,4种人工湿地填料对磷的吸附动力学具有共同的特征(图3),各填料的磷酸盐吸附量由大到小依次为蜂窝煤渣、泥灰页岩、河砂、黑色页岩。4种填料对磷的吸附能力有相似的变化趋势,可以把吸附动力学过程分为快、中、慢三个阶段,前4h吸附量显著上升为快的阶段,其后趋于平缓为中阶段,在12h吸附基本达到平衡,也就是慢阶段。12~48h吸附量增加不大。与贺凯等^[11]在对5种填料对磷酸盐的等温吸附-解吸特性的研究中对吸附动力学的结果大致相同;与刘波等^[12]对4种人工湿地填料对磷的吸附特性分析中对吸附特征的过程分析大致相同。

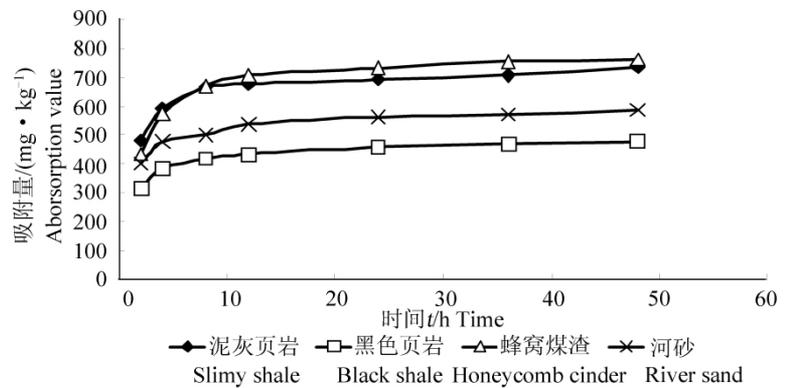


图3 4种填料对磷的吸附动力曲线

Fig. 3 The phosphorus adsorption kinetic curve of four fillings

3 结论与讨论

(1) 4种供试填料对磷的吸附量应该有理论的最大值,在供试磷溶液质量浓度最高为150 mg/L时,页岩和蜂窝煤渣仍表现出较强的磷素吸附量,而砂岩和河砂的吸附则基本趋于平衡。可以推断4种填料的理论饱和吸附量由大到小顺序依次为蜂窝煤渣、泥灰页岩、河砂、黑色页岩。

(2) 在低于50 mg/L的质量浓度下,随着质量浓度的升高,各材料去除率会迅速上升。蜂窝煤渣在各材料中上升最快,且达到平衡的去除率最高。

(3) 4种人工湿地填料对磷的吸附动力学具有共同的特征,吸附过程可以分为快、中、慢三个阶段。各种填料对磷的吸附速率大小顺序依次是蜂窝煤渣、泥灰页岩、河砂、黑色页岩。

(4) 比较等温吸附和动力实验可知,蜂窝煤渣和泥灰页岩可作为理想的人工湿地处理磷素的填料。泥灰页岩的比表面积大相对较大些,河砂的比面积虽然较大,但因其通透性差而对导致对磷的吸附效果不佳,因此,在实践中选择通透性好、具有吸附能力较强的泥灰页岩或煤渣等填充到人工湿地处理系统中,能大大提高氮和磷等无机营养盐的去除效果。

(5) 考虑到实验室条件的磷素吸附动力试验与实现人工湿地中的效果之间存在着一定的差异,在实际应用人工湿地净化富营养化水体中,除了考虑填料对水体中氮磷的去除能力外,还要综合考虑到各种填料对氮、磷或COD等不同污染物的吸附特性,并需要因地制宜就地取材,以降低人工湿地的成本。

参考文献:

- [1] 王金保,侯得印. 利用生物-生态修复技术治理城市污染河道[J]. 江西科学, 2006, 24(1): 76-78.
- [2] Li X F, Jiang C C. Constructed wetland systems for water pollution control in North China[J]. Wat Sci Tech, 1995, 32(3): 349-356.
- [3] 张毅敏,张永春. 利用人工湿地治理太湖流域小城镇生活污水可行性探讨[J]. 农业环境保护, 1998, 17(5): 232-234.
- [4] 戴兴春,徐亚同,谢冰. 浅谈人工湿地法在水污染控制中的应用[J]. 上海化工, 2004, 10(5): 13-16.
- [5] 朱夕珍,崔理华,温晓露,等. 不同基质垂直流人工湿地对城市污水的净化效果[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(4): 454-457.
- [6] 章芳,章北平,陈哲,等. 4种填料对生活污水的吸附性能分析[J]. 水处理技术, 2006, 32(11): 37-40.
- [7] 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.
- [8] 楚素珍,李德喜. 煤灰渣吸附法处理磷化生产线废水中COD、Zn²⁺[J]. 污染防治技术, 1995, 8(4): 276-283.
- [9] 籍国东,倪晋仁. 人工湿地废水生态处理系统的作用基质[J]. 环境污染治理技术和设备, 2004, 5(6): 71-75.
- [10] 尹炜,李培军,傅金祥,等. 潜流人工湿地不同基质除磷研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2006, 22(6): 985-988.
- [11] 贺凯,卢少勇. 对5种填料对磷酸盐的等温吸附-解吸特性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 232-235.
- [12] 刘波,陈玉成,王莉玮,等. 4种人工湿地填料对磷的吸附特性分析[J]. 环境工程学报, 2010, 4(1): 44-48.
- [13] 崔玉波,董婵,赵立辉,等. 人工湿地填料吸附氮磷性能研究[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2006, 23(2): 7-11.
- [14] 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: 246-248.