文章编号：院20140244

营养盐绿色吸附材料摇床试验研究

吴雷祥[12]，刘玲花[1]，周怀东[1]，霍炜洁[1]，刘来胜[1]，吴佳鹏[1]，方媛瑗[2]

（1 中国水利水电科学研究院水环境研究所，北京市，100038；2中国水利水电科学研究院研究生部，北京市，100044；）

摘要：水体中氮和磷的长期积累后影响生态系统的完整性和人类健康。解决农村受污染河道沟渠的水体营养盐污染问题，研发适宜的吸附材料是解决上述问题的重要方法之一。本研究通过摇床试验，分析了不同滤料组合在1h、6h、12h、24、48h时对TP、TN、OP、NH_3-N等营养盐的去除效果。试验结果表明：作为电子供体，锯末能够为反硝化作用提供碳源，同时，锯末在摇床试验过程中存在营养盐析出的问题，会导致水样中TP、TN、OP、NH_3-N的含量增加的问题；轮胎颗粒对正磷酸盐（OP）有显著的去除作用；50%沙壤土，25%木屑，25%轮胎颗粒（重量比）和50%沙壤土，25%木屑，15%轮胎颗粒,10%石灰石（重量比）这两种滤料组合，对营养盐具有相对较好的去除作用。

关键词：绿色吸附材料；摇床试验；轮胎颗粒；营养盐

中图分类号：X52　　**文献标识码：**A

1研究背景

水体中氮和磷的长期积累后影响生态系统的完整性和人类健康。硝酸盐可导致健康问题，如高铁血红蛋白血症、肝损伤甚至癌症；磷可能引发的淡水水体的富营养化问题，这可能会导致有毒的藻类和最终危及饮用水的来源。

我国在防治水体富营养化水体方面进行了大量的研究，特别是在太湖、滇池、海河流域等大型水域及城市水体，但在经济欠发达的农村地区对河塘等水体中营养盐的去除方面的研究相对薄弱，缺乏经济有效的技术手段[1-3]。同时，包含农业源的农村营养盐污染在我国污染物排放情况中占有重要位置[4]。

针对在快速城镇化的进程中出现的资源和环境承载压力增大的问题和矛盾，解决农村受污染河道沟渠的水体营养盐污染问题，研发适宜的吸附材料[5-7]是解决上述问题的重要方法之一。

综合考虑不同吸附材料的经济性、实用性、渗透性等材料特性、以及环境适宜性，初步选择了沙壤土、锯末、轮胎颗粒、石灰石、陶粒、沸石等材料[8-9]，进行摇床试验，考察不同材料组合对营养盐的去除效果，比选具有较好效果的材料组合，作为后续吸附柱试验及分析材料的使用寿命、应用潜力的研究基础。

2试验设置

收稿日期：2014年10月21日　　论文未公开发表过。

基金项目：村镇受损生态系统修复与重建实用技术研发（2012BAJ21B03）；三峡库区小江汉丰湖流域水环境综合防治与示范（2013ZX07104004）

作者简介：吴雷祥（1982-），男，山东临沂，博士，工程师，主要从事饮水安全及河流生态修复研究工作。

E_mail:wulx@iwhr.com

2.1试验材料　根据前期文献综述，选择沙壤土、锯末、轮胎颗粒、石灰石、陶粒、沸石6种材料，皆购自市场。为了减少材料中微生物的干扰作用，将每种材料置于烘箱中烘干，温度设置为80℃，时间设置为150min。试验用水使用去离子水配制，根据我国农村河道营养盐污染状况，去离子水中添加分析纯硝酸钠、氯化铵、磷酸钾试剂作为试验用水，其浓度介于地表水环境质量标准GB3838-2002中Ⅳ-Ⅴ类水之间。每个振荡瓶中使用试验用水250ml，滤料组合30g。

2.2滤料组合设置　摇床试验使用的滤料组合，从构成相对简单的组合开始，逐渐增加滤料的种类，考察不同滤料组合对正磷酸盐、TP、氨氮、TN的去除效果。摇床试验采用的滤料，共使用了6种滤料，设置了10个滤料组合，其具体材料及配比见表1。

表1 滤料组合设置

序号	滤料配比设置（重量比）	备注
1	100%沙壤土	对比控制作用
2	50%沙壤土，50%轮胎颗粒	考察轮胎颗粒的效果
3	50%沙壤土，50%锯末	考察锯末的效果
4	50%沙壤土，25%锯末，25%轮胎颗粒	考察锯末和轮胎颗粒的效果
5	50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石	考察轮胎颗粒和石灰石的效果
6	50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%陶粒	考察轮胎颗粒和陶粒的效果
7	50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%沸石	考察轮胎颗粒和沸石的效果
8	50%沙壤土，25%锯末，15%陶粒,10%石灰石	考察陶粒和石灰石的效果
9	50%沙壤土，15%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石,10%陶粒	考察轮胎颗粒、石灰石和陶粒的效果
10	50%沙壤土，10%锯末，10%轮胎颗粒,10%石灰石,10%陶粒,10%沸石	考察轮胎颗粒、石灰石、陶粒和沸石的效果

2.3取样时间　由于摇床试验过程中滤料对营养盐的吸附和释放是持续的，为了量化滤料对正磷酸盐的吸附及氨氮的释放水平，取样时间设置为1h，6h，12h，24h，48h。

2.4试验步骤　①配制试验用水；②取250ml试验用水至500ml塑料瓶中；③按照配比，每种滤料组合取30g至试验用水中；④将装好试验用水和滤料的塑料瓶放到摇床上开始试验，摇床转速为125r/min；⑤在1h，6h，12h，24h，48h时，分别取样分析；⑥水样过0.45μm玻璃纤维滤膜；⑦对过滤后的水样，分别检测正磷酸盐（OP）、总磷（TP）、总氮（TN）、氨氮（NH3-N）。

2.5分析方法　TP和TN的测定按照《水和废水分析监测方法（第四版）》进行，分别使用钼酸铵分光光度法和碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法。OP和NH_3-N的测定分别使用HACH的Phos Ver 3(Ascorbic Acid)方法和纳氏试剂法。

3结果与讨论

分析比较各配比1h，6h，12h，24h，48h摇床试验结果，研究各配比条件下TP、TN、OP、NH_3-N的变化趋势，同时，重点考察48h试验结果，选择相对吸附效果最好的滤料组合，为吸附柱试验提供研究基础，并为该滤料组合的推广应用提供数据支持。图1为100%沙壤土摇床试验结果，由48h结果可以看出，TP、TN、NH_3-N的浓度都没有显著的降低，吸附效果较差。

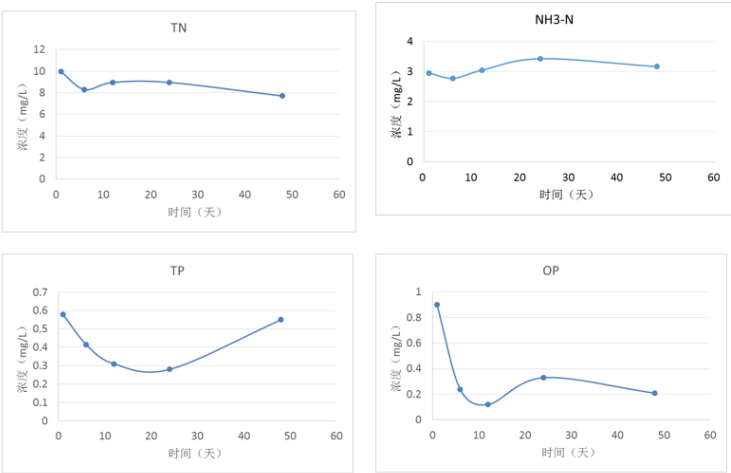

图 1 100%沙壤土（重量比）

为了研究轮胎颗粒作为滤料的作用，添加轮胎颗粒至沙壤土中，组成50%沙壤土、50%轮胎颗粒（重量比）的滤料组合。其对TP、TN、OP、NH_3-N的去除效果如图2所示。由图2可以看出，添加轮胎颗粒后，TN、OP、NH_3-N都有所降低，尽管如此，由于沙壤土与轮胎颗粒的滤料组合中，没有反硝化作用所必须的碳源作为电子供体，需要添加一种滤料作为电子供体以满足反硝化作用脱氮的需要。

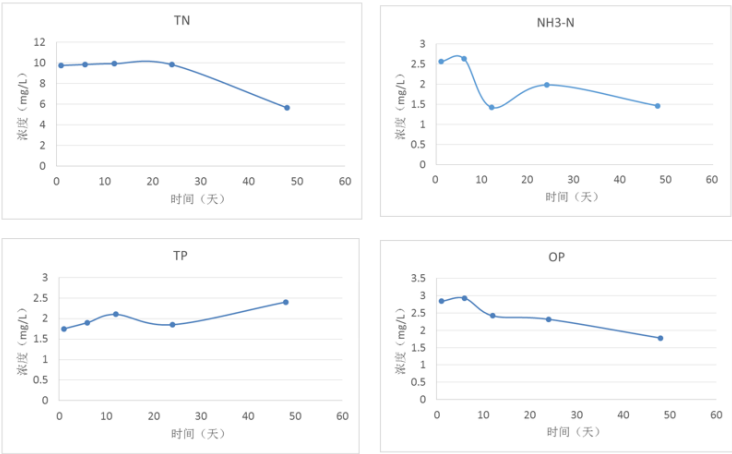

图 2 50%沙壤土,50%轮胎颗粒（重量比）

图3为50%沙壤土，50%锯末（重量比）配比滤料组合。由图3可以看出，其中营养盐的浓度高于沙壤土和轮胎颗粒的滤料组合,添加锯末作为碳源的同时,会提高氨氮、OP的浓度[10]，可以进一步优化锯末的用量，既达到提供电子供体的目的，又尽量减少营养盐的析出。

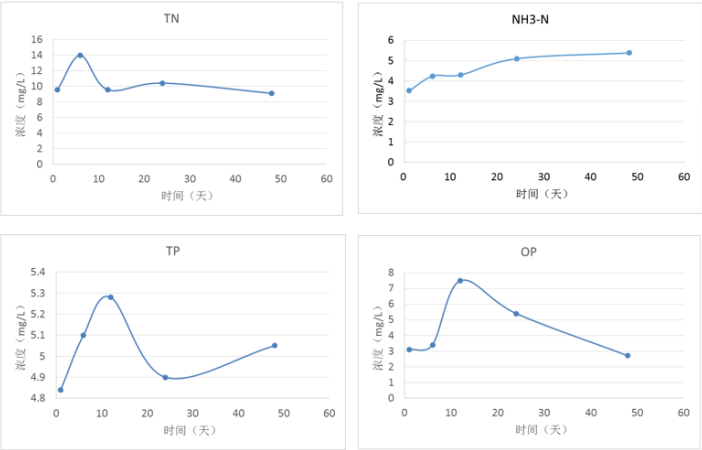

图 3 50%沙壤土,50%锯末（重量比）

添加轮胎颗粒至沙壤土与锯末的组合中，构成50%沙壤土、25%锯末、25%轮胎颗粒的滤料组合。比较图3和图4，研究添加轮胎颗粒对滤料组合去除营养盐的效果影响。由图可以看出，添加轮胎颗粒后，对所有营养盐都有较好的影响，特别是OP，有较为显著的去除效果。50%沙壤土，50%锯末的滤料组合中，锯末含量高，在摇床试验过程中有析出，增加了水样中营养盐含量。

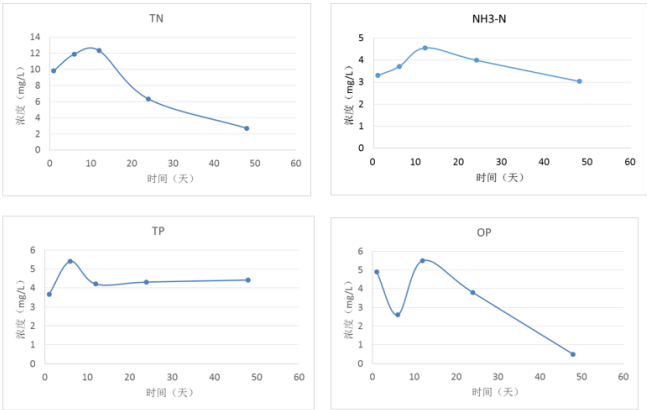

图 4 50%沙壤土，25%锯末，25%轮胎颗粒（重量比）

为了研究石灰石作为滤料对营养盐去除效果的影响，向沙壤土、锯末、轮胎颗粒的滤料组合中添加石灰石，构成50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石（重量比）的滤料组合。由图5可以看出，轮胎颗粒和石灰石对TN、NH_3-N、OP都有更好的去除效果，比较图4和图5，石灰石的添加对氨氮有较好的吸附效果，同时，对OP的去除效果稍差，这可能是由于轮胎颗粒减少的原因，但明显优于沙壤土和锯末的滤料组合。

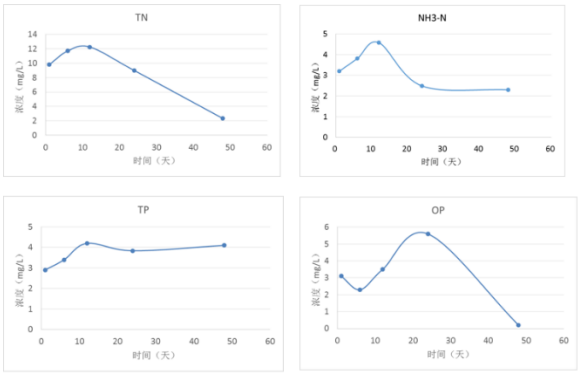

图 5 50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒，10%石灰石（重量比）

图6为50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%陶粒（重量比）滤料组合，与图5比较，TN和NH_3-N浓度高于50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石的滤料组合，TP、OP浓度水平相近。

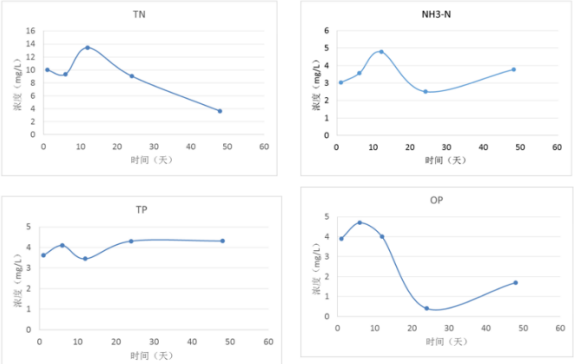

图 6 50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒，10%陶粒（重量比）

图7为50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%沸石（重量比）滤料组合对各营养盐的去除效果,对比图5和图7,其对营养盐的去除效果基本和50%沙壤土,25%锯末,15%轮胎颗粒,10%石灰石相近，优于50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%陶粒的滤料组合效果。考虑到沸石的渗透性稍差，容易造成堵塞，在后续吸附柱试验中主要使用石灰石。

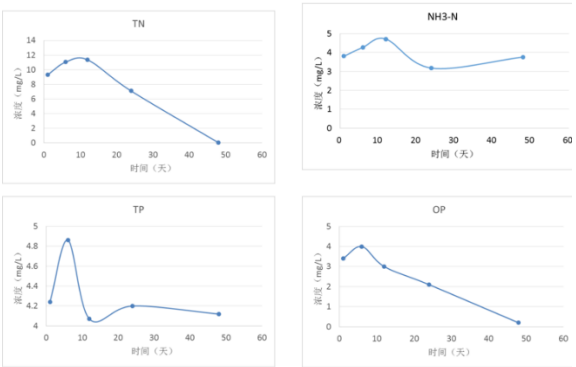

图 7 50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒，10%沸石（重量比）

图8为50%沙壤土，25%锯末，15%陶粒,10%石灰石（重量比）滤料组合对营养盐的摇床试验结果，与50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石的滤料组合相比（见图5），NH_3-N、TP的浓度水平高，TN、OP的浓度水平相近。相较而言，50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石的滤料组合的效果更好。

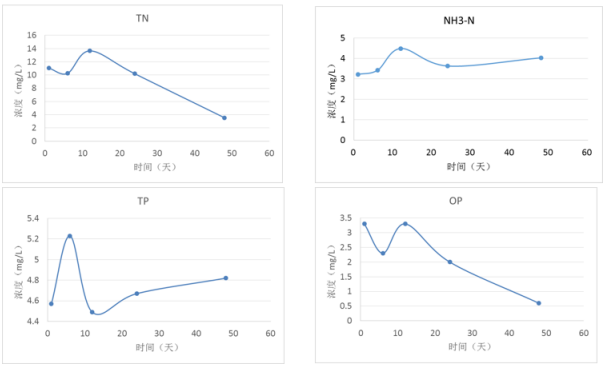

图 8 50%沙壤土，25%锯末，15%陶粒，10%石灰石（重量比）

与50%沙壤土，25%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石（见图5）的滤料组合相比，50%沙壤土，15%锯末，15%轮胎颗粒,10%石灰石,10%陶粒（重量比）（见图9）滤料组合增加了陶粒，减少了锯末的用量，在摇床试验结果中，NH_3-N浓度升高，TP、TN、OP浓度不同程度浓度降

低，这可能是由于碳源（锯末）含量减少造成的。

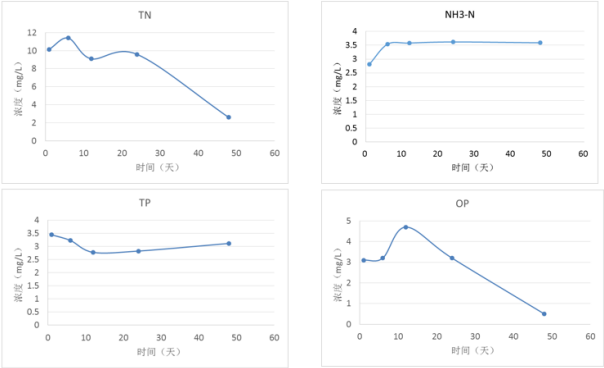

图 9 50%沙壤土，15%锯末，15%轮胎颗粒，10%石灰石，10%陶粒（重量比）

图10为50%沙壤土，10%锯末，10%轮胎颗粒,10%石灰石,10%陶粒,10%沸石（重量比）滤料组合在摇床试验中对营养盐的去除效果。由图可以看出，其对OP的去除效果较差。

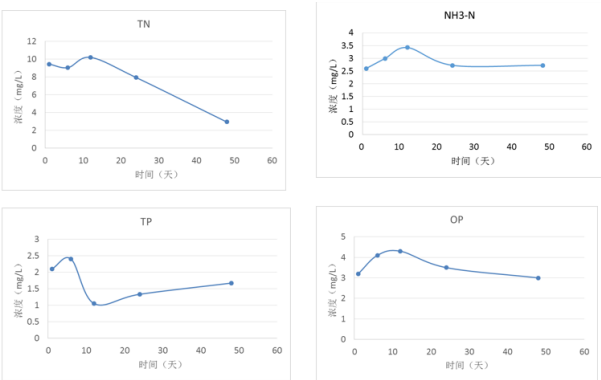

图 10 50%沙壤土，10%锯末，10%轮胎颗粒,10%石灰石,10%陶粒,10%沸石（重量比）

4结论

通过摇床试验，分析不同滤料组合在1h、6h、12h、24、48h，对TP、TN、OP、NH_3-N等营养盐的去除效果，得出以下结论：

①作为电子供体，锯末能够为反硝化作用提供碳源，同时，锯末在摇床试验过程中存在营养盐析出的问题，会导致水样中TP、TN、OP、NH3-N的含量增加，所以，适宜的锯末用量，对营养盐的去除很重要。目前，最适宜的木屑用量尚不能确定，本试验中选用的25%锯末（重量比），有较好的去除效果。

②轮胎颗粒对正磷酸盐（OP）有显著的去除作用。

③50%沙壤土，25%木屑，25%轮胎颗粒（重量比）和50%沙壤土，25%木屑，15%轮胎颗粒，10%石灰石（重量比）这两种滤料组合对营养盐具有相对较好的去除作用。

参 考 文 献 ：

[1] 李仰斌，张国华，谢崇宝.我国农村生活排水现状及处理对策建议[J]，饮水安全，2008(3:51-53.

[2] 杨娟，冯大兰，刘芸.三峡库区次级河流污染现状与对策研究[J]，中国农学通报，2009，25(01):206-210.

[3] 孙兴旺，马友华，王桂苓，等.中国重点流域农村生活污水处理现状及其技术研究[J]，中国农

学通报，2010，26(18):384-388.
[4] 环境保护部.2012年环境统计年报，2013.12.25. http://zls.mep.gov.cn/hjtj/nb/2012tjnb/.
[5] 张悦，段华平，孙爱伶，等.江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J]，农业环境科学学报，2013（32）:172-178.
[6] 严岩，孙宇飞，董正举，等.美国农村污水管理经验及对我国的启示[J]，环境保护，2008（4）:65-67.
[7] Danaé Pitre1，Amiel Boullemant，Claude Fortin1.Uptake and sorption of aluminium and fluoride by four green algal species[J]，Chemistry Central Journal，2014，8:8.
[8] G.VENKATAPPA RAO，R.K.DUTTA.Compressibility and strength behaviour of sand－tyre chip mixtures[J]，Geotechnical and Geological Engineering.2006（24）:711-724.
[9] N. B. Chang，M. K. Islam，M. P. Wanielista. Floating wetland mesocosm assessment of nutrient removal to reduce ecotoxicity in stormwater ponds[J]，Int.J.Environ.Sci.Technol.2012（9）:453－462
[10] Zhemin Xuan，Ni-Bin Chang，Ammarin Daranpob, etcl. Initial Test of a Subsurface Constructed Wetland with Green Sorption Media for Nutrient Removal in On-site Wastewater Treatment Systems[J]，Water Qual Expo Health， 2009（1）: 159－169.

摘要：水体中氮和磷的长期积累后影响生态系统的完整性和人类健康。解决农村受污染河道沟渠的水体营养盐污染问题，研发适宜的吸附材料是解决上述问题的重要方法之一。本研究通过摇床试验，分析了不同滤料组合在1h、6h、12h、24、48h时对TP、TN、OP、NH_3-N等营养盐的去除效果。试验结果表明：作为电子供体，锯末能够为反硝化作用提供碳源，同时，锯末在摇床试验过程中存在营养盐析出的问题，会导致水样中TP、TN、OP、NH3-N的含量增加的问题；轮胎颗粒对正磷酸盐（OP）有显著的去除作用；50%沙壤土，25%木屑，25%轮胎颗粒（重量比）和50%沙壤土，25%木屑，15%轮胎颗粒,10%石灰石（重量比）这两种滤料组合，对营养盐具有相对较好的去除作用。
关键词：绿色吸附材料；摇床试验；轮胎颗粒；营养盐

Study on the treatment of the nutrition by the batch test with green sorption media

WU Lei-xiang，LIU Ling-hua，ZHOU Huai-dong，Huo Weijie，LIU Lai-sheng，Wu Jiapeng，Fang Yuanyuan
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research，Beijing 100038，China)

Abstract: The nitrogen and phosphorus in water after long term accumulation are an essential part to affect the integrity of the ecosystem and human health. The study of proper sorption media is one of the key methods to solve the water nutrition pollution in the river and channel in the rurual area of China. By the batch test, the samples are taken off of the shaker plate at times 1hr,6hr,12hr,24hr and 48hr and tested for TP、TN、OP、NH_3-N. The test shows that: As the elctron donors, the sawdust is proper to supply the carbon sources, meanwhile the swadust will result in the nutrient concentration increasement as the release of nutrient; It is decreased concentration of OP remarkable with the tire crumb;Batch test experimentation shows the most

effective media to be 50%sand, 25%tire crub, 25%sawdust and 50% sand, 25%swadust, 15%tire crub,10%limestone.

Key word: green sorption media, batch test, tire crub, nutrition

中国水利水电科学研究院第十二届青年学术交流会

营养盐绿色吸附材料摇床试验研究

吴雷祥，刘玲花，周怀东，霍炜洁，刘来胜，吴佳鹏，方媛瑗

（1 中国水利水电科学研究院水环境研究所，北京市，100038）

（2 中国水利水电科学研究院研究所部，北京市，100044）

摘要

摘要 水体中氮和磷的长期积累后影响生态系统的完整性和人类健康。解决农村受污染河道沟渠的水体营养盐污染问题，研发适宜的吸附材料是解决上述问题的重要方法之一。本研究通过摇床试验，分析了不同滤料组合在 1H、6H、12H、24、48H 时对 TP、TN、OP、NH_3-N 等营养盐的去除效果。试验结果表明：作为电子供体，锯末能够为反硝化作用提供碳源，同时，锯末在摇床试验过程中存在营养盐析出的问题，会导致水样中 TP、TN、OP、NH_3-N 的含量增加的问题；轮胎颗粒对正磷酸盐（OP）有显著的去除作用；50%沙壤土，25%木屑，25%轮胎颗粒（重量比）和 50%沙壤土，25%木屑，15%轮胎颗粒,10%石灰石（重量比）这两种滤料组合，对营养盐具有相对较好的去除作用。

关键词

关键词：绿色吸附材料；摇床试验；轮胎颗粒；营养盐

吴雷祥

吴雷祥，男，1982 年 1 月出生，水环境学在读博士，工程师，现在中国水利水电科学研究院水环境研究所工作，从事饮水安全及河流生态修复研究工作。作为负责人及科研骨干，先后参与国家重大科学计划项目（包括国家科技支撑项目、国家自然科学基金项目等）3 项、国家重大专项（水污染控制与治理重大专项）2 项。

注：论文未公开发表过。