

人工湿地处理污水处理厂尾水中试研究

高翔¹, 黄津辉¹, 张忠广¹, 周绪申²

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072; 2. 水利部 海河水利委员会水资源保护局, 天津 300170)

摘要: 天津市某污水处理厂出水中仍含有大量 N、P 以及难降解的大分子物质等污染物, 计划采用潜流人工湿地系统对污水厂出水进行深度处理, 使其达到城市景观用水的标准。利用中试试验模拟潜流人工湿地系统对出水中主要污染物的去除效率, 发现: 接种微生物的湿地系统对尾水中的悬浮物有较高的去除效率, 约为 84.7%; 悬浮物的去除与基质的吸附和物理沉淀作用有很大关系; 接种微生物的湿地系统对尾水中的 COD 有较好的去除效率, 达到 44.8%, 并且功能微生物的添加提高了对 COD 的去除能力; 接种微生物的湿地系统对氨氮与总氮的去除效率均不理想, 分别为 12.3% 和 35.5%; 溶解氧的增加有助于氨氮和总氮的去除; 接种微生物的湿地系统对总磷的去除率为 52.3%, 主要依靠基质的吸附和物理沉淀作用。

关键词: 人工湿地; 降解; 基质; 砾石; 煤渣; 功能微生物

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0054-05

Research on the Pilot Scale Experiment of Tail Water from a Wastewater Treatment Plant Treated by Constructed Wetlands

GAO Xiang¹, HUANG Jinhui¹, ZHANG Zhongguang¹, ZHOU Xushen²

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China)

Abstract: The water from a wastewater treatment plant in Tianjin still contains a large number of N and P as well as macromolecules which are hard to be degraded. The constructed wetland system is used to perform advanced treatment on the water from the wastewater treatment plant so that it can meet the standard of urban landscape water use. A pilot experiment is used to simulate the removal efficiency of the constructed wetland system on different kinds of pollutants. The results showed that (1) the wetland system of the inoculated microorganisms has a high removal efficiency of 84.7% on the suspended solids of tail water; (2) removal of suspended solids has a great correlation to matrix adsorption and physical precipitation; (3) the wetland system of the inoculated microorganisms has a good removal efficiency of 44.8% on COD of tail water, and the addition of functional microbes can improve the removal ability on COD; (4) the wetland system of the inoculated microorganisms does not have a good removal efficiency on ammonia nitrogen and total nitrogen, which is about 12.3% and 35.5% respectively; (5) the addition of dissolved oxygen can contribute to the removal of ammonia nitrogen and total nitrogen; and (6) the wetland system of the inoculated microorganisms has a removal efficiency of 52.3% on total phosphorus, main relying on the matrix adsorption and physical precipitation.

Key words: constructed wetlands; degradation; matrix; gravel; cinder; functional microorganism

目前, 作为生命之源的淡水资源正面临污染与短缺的双重威胁, 寻求高效的污水净化技术以及合理的污水再生资源化途径是当今研究的热点与重点^[1]。污水资源化可有效减少城市淡水资源的消耗, 降低污染物的外放量, 有利于创建

可持续发展的城市生态环境, 经济和环境效益巨大, 并且能从根本上解决城市水资源匮乏的局面, 是缺水城市应采取的势在必行的措施^[2]。

天津市正建设一座承担某区域内污水收集与处理的污

收稿日期: 2013-02-21 修回日期: 2013-11-04 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01058.html>

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-09-0586); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201201114); 国家国际科技合作专项(S2013BGR0244)

作者简介: 高翔(1987-), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事城市生态水文方面的研究。E-mail: gaoliang16@qq.com。

通讯作者: 黄津辉(1969-), 女, 加拿大人, 教授, 主要从事城市生态水文方面的研究。E-mail: huangj@tju.edu.cn。

水处理厂,污水主要是以电子厂出水和纺织厂出水为主的工业污水以及生活污水,其中工业出水中含有大量的难降解大分子物质。污水厂的设计标准采用《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)^[5]中的一级A标准,但其出水中仍然含有较多的氮、磷以及难降解的大分子物质等污染物。因此直接排入排污河,将造成区域水资源的大量浪费和污染转移。这种情况下需要对污水厂出水再进行深度处理,降低氮、磷以及难降解物质等污染物的含量,达到景观甚至生活用水的标准。

无论从功能性和经济性考虑,人工湿地系统都是污水深度净化方式的理想选择。王琳娜等^[3]利用传统的水平潜流人工湿地处理不同浓度的污水处理厂尾水,结果显示出水能够达到景观回用水水质要求;杨长明等^[4]研究组合人工湿地对无锡城北污水处理厂出水尾水中不同有机物的去除效率,结果显示出水基本可以达到国家地表水环境质量标准(GB 38382 2002)^[5]Ⅲ或Ⅳ类水标准;文辉等^[6]针对污水处理厂尾水氮素高的现象,选用不同固体碳源进行试验,有效地提高了污水硝态氮的去除效率。张丽等^[7]采用U型人工湿地处理常州市某度假区污水处理厂的尾水,并选用了不同植物,不仅大大降低了受纳水体的污染负荷,而且因为植物系统与度假区环境相容,产生了一定的景观效果。因此,本试验采用模拟水平潜流人工湿地的中试试验来探究其对污水厂尾水的处理效率。

1 试验设计

1.1 试验地点和污水成分组成

试验地点位于天津市某污水处理厂内,该污水厂主要收集区域45 km²内企业生产排放的工业污水以及居民小区的生活污水,其进水成分较为复杂,污水来源见图1(资料由天津市某污水厂提供)。试验期间的进水指标见表1。

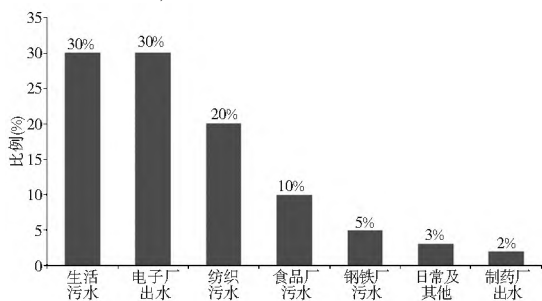


Fig. 1 Influent water components of the sewage treatment plant

表1 试验进水浓度

Table 1 Influent water concentration

	mg/L			
项目	COD	氨氮	总氮	总磷
进水浓度	75~250	10~45	20~64	0.3~2.0

1.2 试验材料

该试验选用砾石与煤渣作为湿地系统的基质,其中砾石分为粒径10~20 mm与20~40 mm两种,煤渣粒径为20~40 mm,根据基质粒径不同将湿地床体分为两层,上层为较小粒径砾石与煤渣的混合层,厚度为25 cm;下层为较大粒径

砾石与煤渣的混合层,厚度为40 cm。各层的砾石与煤渣的体积均比6:1。试验进行前对砾石与煤渣进行冲洗,每次清洗完成后将装置进行放空。经测定,孔隙率约为50%,根据床体尺寸可得湿地系统有效容积 $V = nlwh = 0.5 \times 1.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} = 0.244 \text{ m}^3 = 244 \text{ (L)}$ (n 为空隙率; l 为长度; w 为宽度; h 为高度)。

生化箱为直径50 cm,高度100 cm的圆筒,内部填充基质是有机带孔材料,有效容积约为200 L。

1.3 人工湿地系统的建立

该系统建在污水处理厂排向排污河的最后一个接触池旁,分为三组处理系统(图2),其中两组为模拟水平潜流人工湿地系统,另一组为生化箱。使用某公司提供的微生物复合菌种投入其中一组湿地系统和生化箱中,另一组湿地系统不添加微生物。每组系统用相同的泵来控制流量在200~800 L/d之间,并且先将进水从接触池抽至储水箱,再抽至各个系统中。

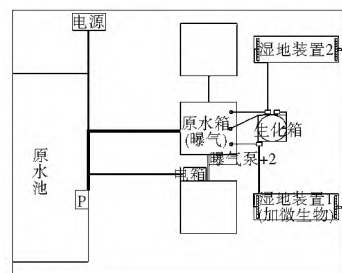


图2 中试试验装置平面布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the layout of pilot test device

模拟湿地床体采用有机塑料pp板焊接而成,箱体长 $l = 1.5 \text{ m}$,宽 $w = 0.5 \text{ m}$,高 $h = 0.65 \text{ m}$,坡度为2%。湿地进水端使用带孔管道以达到均匀布水的目的,箱体低端设置排空口,结构见图3。

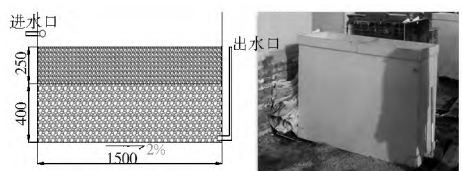


图3 湿地床体结构示意图

Fig. 3 Structural diagram of the wetland bed body

1.4 微生物接种

经过验证和筛选,试验所用微生物由8种菌复合而成,其中好氧菌有:枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、地衣芽孢杆菌(*B. licheniformis*)、沼泽红假单胞菌(*Rhodospirillum rubrum*);兼性厌氧菌:解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)、纤维单胞菌属(*Cellulomonas* sp.)、双氮纤维单胞菌(*C. biazotea*)、施氏假单胞菌(*Pseudomonas stutzeri*)、脱氮假单胞菌(*P. denitrificans* sp.)。该菌液纯度较高,接种量为初次进水水样体积的5%,并且只在试验第一次启动时添加。

1.5 运行方式与分析方法

系统采用间歇式进水,水力停留时间为1.5 d,水力负荷为480 mm³/d。本次试验分三个阶段,第一阶段为系统调试阶段,从系统建成至稳定,稳定后开始进行观测;第二阶段从第5 d至第25 d,对装置进行曝气、检测;第三阶段从第26 d

至第41 d,撤掉曝气,对装置进行检测。平均每3 d取一次样,并及时对水样进行检测,参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[8]中规定的方法进行分析测定,试验水质指标分析项目与分析方法见表2。

表2 监测指标分析方法与仪器

Table 2 Analytical methods and instruments of monitoring indicators

项目	分析方法	使用仪器
悬浮物	便携式浊度仪法	YSI6600V2型水质多参数测定仪
COD	重铬酸钾分光光度法	AutoAnalyzer3流动注射分析仪
氨氮	水杨酸钠分光光度法	AutoAnalyzer3流动注射分析仪
总氮	硫酸肼分光光度法	AutoAnalyzer3流动注射分析仪
总磷	钼氨酸分光光度法	AutoAnalyzer3流动注射分析仪

2 结果与讨论

2.1 对尾水悬浮物处理效果分析

图4显示,生化箱、湿地系统以及接种微生物的湿地系统在35 d内对悬浮物(水中悬浮物^[8](SS)一般以总悬浮物(TSS)来表示)的平均去除率依次是64.5%、82.4%和84.7%,即在取样期间,进水浊度为17.1 NTU,经三组系统处理后分别降至5.3 NTU、2.7 NTU和2.4 NTU,都表现出很好的去除效率^[9]。从数据中可看出,接种微生物的湿地系统仅比未接种微生物的湿地系统提高2.3%,但两组湿地系统却比基质相对较少的生化箱高出近20%,可见功能微生物的接种并没有大幅度提高悬浮物的去除效率,悬浮物的去除主要与系统内基质的吸附及物理沉淀作用有关。在关闭曝气后,三组系统的处理效率均有不同程度的下降(湿地系统下降了12%~16%,生化箱下降了33%),可见溶解氧在一定程度上也影响水中悬浮物的去除。因此对水平潜流人工湿地前段进行曝气可有效解决由于悬浮物积累所造成的堵塞问题。

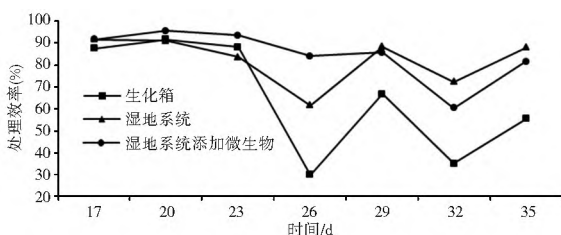


图4 悬浮物的去除效率

Fig. 4 Removal efficiency of TSS

2.2 对尾水COD的处理效果分析

图5显示,生化箱、湿地系统以及接种微生物的湿地系统在35 d内COD的平均去除率依次为30.5%、39.4%和44.8%,可以看出接种微生物后湿地系统对COD的去除率比未接种的高出5%,这说明湿地系统中功能微生物的添加有利于湿地处理效率的提高。陈德强等^[10]研究不同湿地组合工艺净化污水效果的比较中发现,充氧效果较好的推流床对COD具有更好的去除效果。在本试验中,对生化箱进行曝气,COD的去除率提高将近17%,说明湿地中氧气的增加有利于COD的去除。

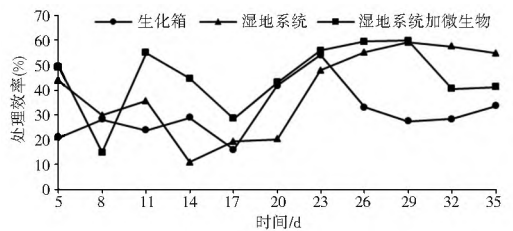


图5 COD的去除效率

Fig. 5 Removal efficiency of COD

2.3 对尾水氨氮、总氮的处理效果分析

图6显示,生化箱、湿地系统以及接种微生物的湿地系统在32 d内对氨氮的平均去除率依次为71.4%、10.4%、12.3%。具有特殊基质的生化箱最高时达到98.6%,表现出极好的去除效率,几乎能够完全去除污水中的氨氮。但在曝气关闭后去除率下降幅度达80%。尹振娟等^[11]研究生物法-人工湿地组合工艺对小城镇混合污水氮素去除效果,结果表明厌氧段氨氮去除效率仅为5.31%,当充分曝气后,氨氮去除率可达57.38%,曝气增加了溶解氧浓度并极大提高了装置对氨氮的去除效率。但是,两组湿地系统在曝气前后的去除效率没有较大改变而且相差不多,原因是溶解氧的增加有利于微生物的活性增强和生长繁殖,但只是氨氮硝化反应的必要条件。

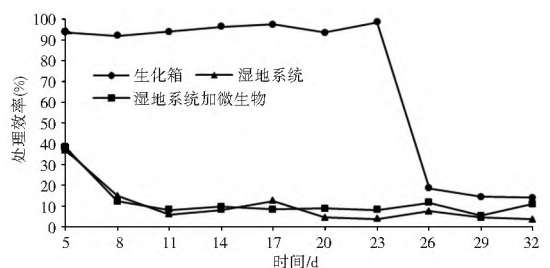


图6 氨氮的去除效率

Fig. 6 Removal efficiency of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

系统对总氮的去除效率见图7,可以看出,接种微生物的湿地系统与未接种微生物的湿地系统在32 d内的平均去除率分别为35.5%和26.3%,提高了近10%,可见功能微生物的接种提高了湿地的反硝化能力。已有研究显示^[12],湿地系统对总氮的去除主要依靠微生物的反硝化作用将硝酸盐氮转化为氮气释放到大气中。然而,系统对总氮去除效率依然不如王琳娜^[3]等仅通过水平潜流人工湿地对总氮的去除效率(65%~80%)。汤显强等^[13]通过研究人工湿地不同填料的去污性能,发现使用砾石作为基质的总氮的去除效率在40%以上。本研究中总氮的去除效率与其他研究不同的主要原因在于进水成分的独特性与氨氮较小的转化率:尾水中的氮素污染主要以氨氮形式存在,如果氨氮的转化效率有限,系统就没有足够的可供反硝化反应的硝酸盐态氮,从而影响总氮的去除效率。生化箱有较高的氨氮去除效率(71.4%),但对总氮在32 d内的平均去除率仅为2.6%。陈欣燕等^[14]研究表明参与反硝化反应的微生物大部分为异养型兼性厌氧菌,在氧气存在下优先利用氧气作为电子受体,只有在缺氧的条件下才会选择硝酸盐态氮作为电子受体,从而达到总氮的消除。由此可知,系统在曝气阶段为尾

水充入了足够的溶解氧,抑制了反硝化反应的进行,这是造成生化箱总氮去除率低的一个重要原因。

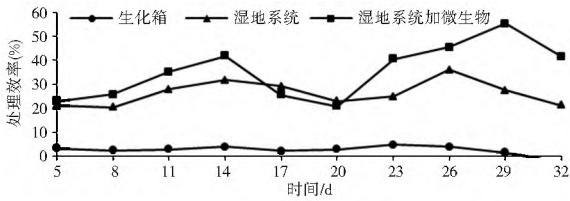


图7 总氮的去除效率

Fig. 7 Removal efficiency of TN

2.4 对尾水总磷的去除效果分析

由图8可知,生化箱、湿地系统以及接种微生物的湿地系统在32 d内对总磷的平均去除率为12.2%、50.3%和52.3%。从数据可看出,接种微生物的湿地系统比未接种微生物的湿地系统平均去除率仅提高2%,但两组湿地系统相对于生化箱的平均去除率提高近38%~40%,可见湿地系统是否添加功能微生物对总磷的去除率影响不大,但相比于有较少基质的生化箱,去除效率却有大幅度提高。基质对磷的吸附作用是除磷的主要途径,植物吸收与微生物作用对磷的去除也有一定的贡献,但是其作用远不及基质的吸附作用^[15]。Paolo Mantovi等^[17]应用芦苇床水平潜流人工湿地对生活污水进行处理,在总磷的进水浓度为12.8 mg/L的情况下,在试验初期总磷的平均去除率可达60.6%。王琳娜等^[3]研究发现污水中磷的去除还与进水磷的浓度有关,在一定范围内,系统对总磷的去除效率随着总磷浓度的提高而增大。另外基质对磷的吸附能力也不是永久的,而是会随着时间的推移,达到一定的程度就开始下降^[18]。本试验中湿地系统在第14 d时对总磷的去除效率高达82.42%,然而随着时间的推移去除效率逐渐下降,在第26 d到32 d时,基本稳定在20%左右。Wang等^[18]的研究表明,进入人工湿地中的部分磷(P)被微生物吸收利用,而且这部分磷在微生物死亡后几乎全部被迅速分解释放,回到水体当中。吴振斌等^[19]研究表明湿地系统中会出现磷的释放现象,无机磷比总磷的释放现象更严重。白晓龙等^[16]研究三种填料对生活污水中磷的去除效果发现砾石的去除效率约为20.3%,与本试验结果基本相符。

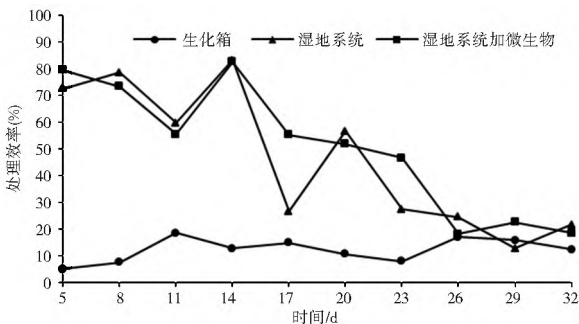


图8 总磷去除效率

Fig. 8 Removal efficiency of TP

3 结论

(1) 水中悬浮物的去除主要依靠系统内基质的吸附与物理沉淀作用,并且溶解氧的增加有助于悬浮物的去除,与

是否接种微生物并无太大的关系。

(2) 功能微生物的接种有助于湿地系统对COD的去除,并且溶解氧的增加(对尾水进行曝气)也有利于COD的去除。

(3) 溶解氧的增加极大促进了氨氮硝化反应的进行,却抑制了后期反硝化反应的进行,不能对氮素进行彻底的去除,三组系统去除效果均不理想。

(4) 系统基质的多少对总磷的去除有着明显的作用,但是基质对磷的吸附并不是永久的,会随着时间的推移,逐渐下降以致平衡。

本试验的不足之处在于,对于系统基质的选择并没有结合最新科技的研发进展,还停留在大众的普通砾石与煤渣上;进水主要为电子厂和纺织厂排出的污水,其成分主要为大分子难降解物质(这也是造成COD去除效率低下的一个原因);对氨氮与总氮的去除还需考虑怎样调节溶解氧的含量,已达到对氮素污染物的最优去除效率;并且本试验只在试验的后期对基质进行细菌观察,能够确定确实有大量微生物存在,但并没有全程监测细菌的生长情况。这些问题会在以后的试验中进行改善。

参考文献(References):

- [1] 李玉鲲,李玉鹏,李明涛. 浅谈我国污水处理及污水资源化[J]. 水资源保护, 2004(1): 3-5. (LI Yur kun, LI Yur peng, LI Ming tao. On China's Sewage Treatment and Sewage Resources[J]. Water Resources Protection, 2004, (1): 3-5. (in Chinese))
- [2] 周希阳,李相玺,余泽清. 合理利用城市水资源的几种途径[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(3): 84-86. (ZHOU Xi yang, LI Xiang xi, YU Ze qing. Rational Utilization of City Water Resources Several Ways[J]. Subtropical Soil and Water Conservation, 2006, 18(3): 84-86. (in Chinese))
- [3] 王琳娜,吴若静. 水平潜流人工湿地小试系统处理污水厂尾水试验研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(2): 85-88. (WANG Lin na, WU Ru o jing. Study on Advanced Treatment of Treated Effluent Using Lab scale Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(2): 85-88. (in Chinese))
- [4] 杨长明,马锐,山城幸,等. 组合人工湿地对污水处理厂尾水中有机物的去除机理研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30(9): 1804-1810. (YANG Chang ming, MA Rui, SHAN Cheng xing, et al. A Pilot scale Study on Removal Characteristics of Organic Substances in Municipal Sewage Plant Effluent by a Hybrid Constructed Wetland[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(9): 1804-1810. (in Chinese))
- [5] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, Environmental Quality Standard for Surface Water[S]. (in Chinese))
- [6] 文辉,陈云峰,高良敏. 不同碳源材料用于污水厂尾水生物反硝化碳源的效果研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(3): 499-504. (WEN Hui, CHEN Yur feng, GAO Liang min. The Effect of Bior denitrification of Sewage Plant Wastewater Using Different Carbon Source Materials[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(3): 499-504. (in Chinese))
- [7] 张丽,朱晓东,邹家庆. 人工湿地深度处理城市污水处理厂尾水

- [J]. 工业水处理, 2008, 28(1): 85-87. (ZHANG Li, ZHU Xiaodong, ZOU Jiarqing. Application of Constructed Wetland to the Advanced Treatment of Effluent in a Municipal Sewage Plant [J]. Industrial Water Treatment, 2008, 28(1): 85-87. (in Chinese))
- [8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. (The Station Environmental Protection Administration Editorial Committee of the Method for Testing Water and Waste Water. The Method for Testing Water and Waste Water (Fourth edition) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese))
- [9] 张增胜, 徐功娣, 李方, 等. 水平潜流人工湿地复合系统净化农村高浊度富营养化水体的研究[J]. 水处理技术, 2009, 35(2): 46-49. (ZHANG Zengsheng, XU Gongdi, LI Fang, et al. Remediation of Rural High Turbid and Eutrophic Water by Using Subsurface Horizontal Flow Integrated Constructed Wetlands System [J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(2): 46-49. (in Chinese))
- [10] 陈德强, 吴振斌, 成水平, 等. 不同湿地组合工艺净化污水效果的比较[J]. 中国给水排水, 2003, 19(9): 12-15. (CHEN Deqiang, WU Zhenbin, CHENG Shuping, et al. Comparison on the Combination System of Different Constructed Wetland Processes for Wastewater Treatment [J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(9): 12-15. (in Chinese))
- [11] 尹振娟, 杨扬, 卢建, 等. 生物法人工湿地组合工艺对小城镇混合污水氨氮去除效果研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1044-1049. (YIN Zhenjuan, YANG yang, LU Jian, et al. Studies on the Effects of the Combined Process of A/BCO-CW for Treatment of Small Town Mixed Sewage [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(5): 1044-1049.)
- [12] 赵联芳, 朱伟, 赵建. 人工湿地处理低碳氮比污染河水时的脱氮机理[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1821-1827. (ZHAO Lianfang, ZHU Wei, ZHAO Jian. Nitrogen Removal Mechanism in Constructed Wetland Used for Treating Polluted River Water with Lower Ratio of Carbon to Nitrogen [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(11): 1821-1827. (in Chinese))
- [13] 汤显强, 李金中, 李学菊, 等. 人工湿地不同填料去污性能比较[J]. 水处理技术, 2007, 33(5): 45-48. (TANG Xianqiang, LI Jirzhong, LI Xueju, et al. Comparison between Performance of Pollutant Removal by Different Packings in Constructed Wetland [J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(5): 45-48. (in Chinese))
- [14] 陈欣燕, 程晓如, 陈忠正. 从微生物学探讨生物除磷脱氮机理[J]. 中国给水排水, 1996, 12(5): 32-33. (CHEN Xiryan, CHENG Xiaoru, CHEN Zhongzheng. Explore the Biological Mechanism of Phosphorus and Nitrogen Removal from Microbiology [J]. China Water & Wastewater, 1996, 12(5): 32-33. (in Chinese))
- [15] Pant h K, Reddy K R, Lemon E. Phosphorus Retention Capacity of Rootbed Media of Subsurface Flow Constructed Wetlands [J]. Ecological Engineering, 2001, 17(4): 345-355.
- [16] 白晓龙, 张宝军, 何康林, 等. 三种填料对生活污水中磷的去除效果研究[J]. 电力环境保护, 2007, 23(4): 58-60. (BAI Xiaolong, ZHANG Baojun, HE Kanglin, et al. Comparative Study on Phosphorus Removal Efficiency in Sewage for Three Kinds of Fillers [J]. Electric Power Environmental Protection, 2007, 23(4): 58-60. (in Chinese))
- [17] Paolo M, Marmiroli M, Maestri E, et al. Application of a Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland on Treatment of Dairy Parlor Wastewater [J]. Bioresource Technology, 2003 (88): 85-94.
- [18] WANG N M, WILLIAM J M. A Detailed Ecosystem Model of Phosphorus Dynamics in Created Riparian Wetlands [J]. Ecol Eng, 2000, 126: 101-130.
- [19] 吴振斌, 陈辉蓉, 贺峰, 等. 人工湿地系统对污水磷的净化效果[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 28-35. (WU Zhenbin, CHEN Huirong, HE Feng, et al. Primary Studies on the Purification Efficiency of Phosphorus by Means of Constructed Wetland System [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(1): 28-35. (in Chinese))

版权转让声明

本刊已加入万方数据数字化期刊群(www.wanfangdata.com.cn)、中国知网(www.cnki.net)、维普资讯网(dx1.cqvip.com)和龙源期刊网(www.qikan.com)等网站,并被中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库、美国《化学文摘》(CA)等数据库收录。凡本刊录用的稿件将通过因特网进行网络出版或提供信息服务,稿件一经录用,将一次性支付作者著作权使用报酬(即包括印刷版、光盘版和网络版各种使用方式的报酬),作者将该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、汇编权等在全世界范围内转让给本刊。若有异议,请在投稿时作文字说明,编辑部将酌情处理。

特此声明!

《南水北调与水利科技》编辑部