

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.05.016

# 深圳市布吉污水处理厂构建人工湿地试验研究

陈 雯<sup>1</sup>, 杨 波<sup>2</sup>, 汪诚文<sup>2</sup>

(1. 深圳市水污染治理指挥部办公室, 广东 深圳 518036; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要**: 为了最大程度地改善深圳市布吉河水质状况, 在先期进行布吉污水处理厂中试试验的基础上, 建设了小型人工湿地, 深度处理污水处理厂二级出水, 探讨污水处理厂二级出水在人工湿地基础上的改善程度, 为该市布吉污水处理厂建设完成后是否规划建设景观湿地提供参考依据。结果表明: 人工湿地对二级出水的 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 等重要控制指标均有比较明显的深度处理作用; 夏季的运行效果总体上比秋、冬季处理效果好, 季节变化对 TN 去除率的影响最为明显, 但对出水 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 指标影响相对较小。

**关键词**: 人工湿地; 污水处理; 二级出水; 季节变化; 布吉污水处理厂

中图分类号: X703.1 文献标识码: B 文章编号: 1004-6933(2010)05-0067-04

## Study on constructed wetland of Buji Sewage Plant in Shenzhen

CHEN Wen<sup>1</sup>, YANG Bo<sup>2</sup>, WANG Cheng-wen<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Water Pollution Control Headquarters Office, Shenzhen 518036, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract**: In order to improve the water quality of the Buji River in Shenzhen, and on the basis of earlier larger-scale experiments at the Buji Sewage Plant, a small-scale constructed wetland was constructed for advanced treatment of secondary effluent from the sewage plant. The improvement after advanced treatment of the secondary effluent by a constructed wetland was studied, providing a reference for whether the construction of a wetland should be planned after the construction of the Buji Sewage Plant is completed. The experimental results indicated that the constructed wetland had a quite significant advanced treatment effect on important water quality indexes such as COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TN, and TP of secondary effluent. The treatment effect was generally better in the summer than in the autumn and winter. The seasonal variation affected the removal rate of TN more significantly than that of COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, and TP.

**Key words**: constructed wetland; wastewater treatment; secondary effluent from sewage plant; seasonal variation; Buji Sewage Plant

人工湿地污水处理技术是 20 世纪 70 年代兴起的一种污水处理生态工程技术, 人工湿地一般由植物、填料及生长在填料和植物根系表面的微生物共同构成。人工湿地不仅为植物生长、微生物附着创造良好的环境, 而且还可以通过物理、化学和生物等作用有效去除水体中的污染物质<sup>[1]</sup>。

位于华南地区的深圳市属亚热带海洋性气候, 夏长冬短, 夏季长达 6 个月, 年平均温度 22.4℃, 相对中国北方地区来说, 客观上为该市一年四季利用

人工湿地处理污水提供了可能。

近年来深圳市布吉河水体日益发黑发臭, 该市决定在深圳经济特区上游对布吉河进行拦截并建设布吉污水处理厂。为了探讨人工湿地对二级出水的改善程度, 进而改善布吉河水质, 特在课题组已经运行的布吉污水处理厂中试试验的基础上, 建设了小型潜流型人工湿地。以中试试验的二级出水为原水, 通过种植美人蕉和风车草等植物构成的人工湿地进行了近一年的比较运行试验, 分析不同运行季

节人工湿地对 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 的去除效果,探讨污水处理厂二级出水在人工湿地基础上的改善程度以及季节变化对深度处理效果的影响,为深圳市布吉污水处理厂建设完成后是否规划建设部分景观人工湿地提供参考依据。

## 1 试验设计与方法

### 1.1 试验装置

人工湿地处理系统由不对水体释放物质的 PVC 塑料板焊接而成,放置于加盖遮雨棚的室外,植物能较好地接受阳光照射。湿地底部铺设粒径为 100 ~ 110 mm 的碎石 100 mm,上部依次填充粒径为 1 ~ 3 mm 细沙 200 mm 和粒径为 50 ~ 60 mm 的碎石 300 mm,植物选取种植美人蕉与风车草,间距 400 mm,湿地总容积为 2.7 m<sup>3</sup>(3 m × 1.5 m × 0.6 m)。由于构建的湿地面积较小,仅设置为 1 级处理系统,在湿地底部设置布水系统。试验原水由湿地一端的底部进入,出水经上部碎石、细沙和植物的共同作用后在湿地表面汇集,从进水端的另外一侧出水端排出。为了防止布水系统的堵塞和方便湿地系统的维护和检查,在出水端的布水管线中设置 1.2 m 的溢流检查管,湿地布水系统见图 1。

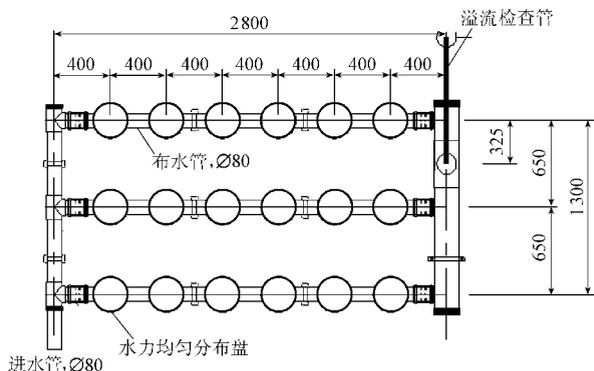


图 1 湿地布水系统示意图

### 1.2 测定项目与方法

水质监测指标参考 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中最重要的几个水质指标,分别选取了 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 等指标。

测定 COD 采用重铬酸钾法;测定 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用纳氏试剂分光光度法;测定 TN 采用碱性过硫酸钾消解分光光度法;测定 TP 采用钼酸盐分光光度法。

### 1.3 人工湿地进水水质和工艺参数

影响人工湿地处理效果的因素非常多,进水水质、运行方式、种植植物种类及其生长情况、填料基质选择与级配、水力停留时间、由季节变化引起的水温变化等,并且各因素之间的关系比较复杂。试验期间的二级出水水质指标 COD、SS、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N

质量浓度范围分别为 30 ~ 50 mg/L、10 ~ 15 mg/L、10 ~ 20 mg/L、0.9 ~ 2.9 mg/L、0.5 ~ 4.0 mg/L。采用此原水进入砂滤人工湿地,处理量为 0.5 m<sup>3</sup>/h,水力负荷为 2.67 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)。湿地建设完成在 5 月初,试水后取深圳洪湖公园人工湿地从根系长出 10 天左右的风车草与美人蕉种植于湿地。在最初种植的 1 个月内,美人蕉与风车草均属于适应性生长,生长不是很旺盛,净水效果较弱,此时美人蕉与风车草无明显竞争关系。种植 1 个月后(即 6 月份),湿地植物逐渐适应了湿地环境并旺盛生长,此时美人蕉与风车草的生长在利用太阳光方面有一定程度的竞争关系,但由于种植有适当的间距,美人蕉尚未明显影响到风车草。至 9 月时,美人蕉的生长高度与繁殖占据明显优势,风车草处于竞争劣势,此时美人蕉已基本布满湿地的上部空间。运行期间主要对美人蕉的老化枝叶人为清理,不清除其根部,基本不破坏其自然生长,此时风车草与美人蕉的竞争处于绝对劣势,仅仅维持必要的生理功能,发挥的作用微弱。通常 1 月份是深圳的冬季,此时深圳的最低气温为 7℃左右,美人蕉基本停止生长,但其基本的生态功能均能正常维持,老化枝叶与夏季茂盛时期无明显变化,只是生理功能有所下降。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对 COD 的去除

图 2 的试验结果表明,人工湿地运行初期就对 COD 有比较好的去除,去除率为 28.5%,随运行时间延长逐步达到稳定。水温在 24 ~ 27℃以上运行效果最好,去除率达到 43.2%,水温在 17 ~ 20℃去除率也达到 36.2%,冬季水温在 12 ~ 15℃运行去除率达到 35.3%,总体 COD 的平均去除率达到 36.7%。试验结果表明,二级出水在 COD 浓度达标的前提下,人工湿地仍然对其有较好的去除,基本满足深度处理的要求。分析原因认为,人工湿地运行初期,COD 的去除主要为砂石的过滤吸附行为,植物和根系微生物发挥的作用较小,运行平稳后由于植物的生长很快,根系更深入的植根湿地,植物相关的吸收和微生物作用日益显现,所以运行稳定后湿地对 COD 的去除包括植物的综合利用和砂石的过滤截留作用两部分。不同的水温试验结果表明,在夏季湿地对 COD 去除较高,随温度的降低去除率有一定程度的降低,但因为深圳的秋冬季水温相对较高,而且植物对污水仍有良好的吸收作用,故总体取得了较好的处理效果。

进入湿地的原水虽然浓度较低,但这部分 COD 是属于较难去除的部分,在试验周期内计算进出水

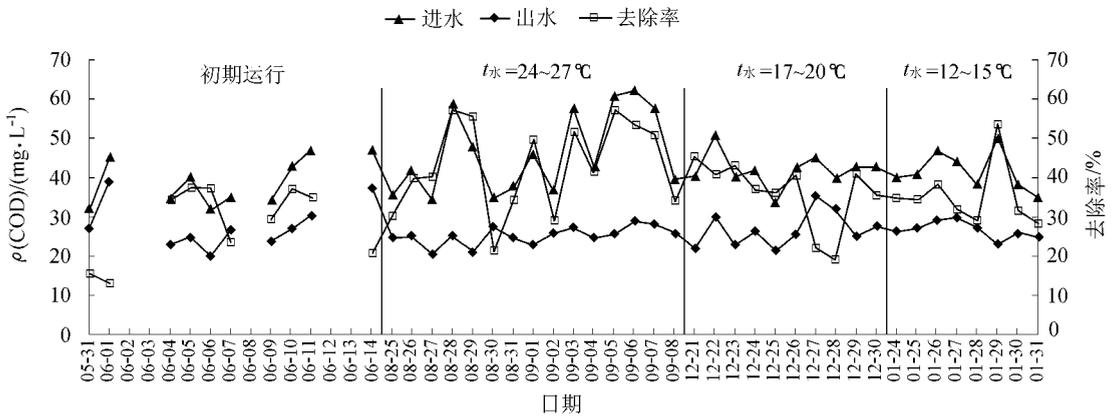


图2 湿地对 COD 的去除

浓度 COD 的平均去除率为 36.7% ,说明 COD 去除率受进水浓度和季节变化影响较小 ,水温的降低没有引起 COD 去除率的较大下降。建立的人工湿地对 COD 去除稳定 ,全年均可运行 ,可以满足深度处理二级出水的要求。

### 2.2 对 NH<sub>3</sub>-N 和 TN 的去除

氮作为一种重要的营养盐 ,其对植物的生长影响相对显著。在人工湿地中 ,植物生长所需氮素主要来自于污水。美人蕉在深圳一年四季均能存活 ,在春、夏、秋季生长 ,在冬季虽暂停生长 ,但仍可维持原有生理状况。在湿地运行初期 ,虽然种植了美人蕉和凤车草 ,但由于植物弱小和对新环境的有适应过程 ,其对氮素的吸收很弱。1 个月后 ,美人蕉可以茂密生长 2 个月后 ,美人蕉就扩展生长 ,植物间距小于 20 cm。试验期间监测结果见图 3。

人工湿地对 NH<sub>3</sub>-N 去除率较高 ,总平均去除率为 53.2% ,初期运行去除率就达到 43.3% ,水温在 24~27℃ 去除率达到 59.1% ,水温在 17~20℃ 去除率达到 59.9% ,在此期间 ,去除率没有下降 ,水温在 12~15℃ 为 46.7% ,冬季运行去除率有所下降 ,但不明显。总体来讲 ,除冬季外原水 NH<sub>3</sub>-N 浓度均较低 ,一般低于 1 mg/L ,砂石的整体吸附作用是 NH<sub>3</sub>-N 去除的主要方面 ,这可从初期运行的去除率推断得出。各个季节植物根系利用 NH<sub>3</sub>-N 的结果表明 :植

物利用 NH<sub>3</sub>-N 可能不是直接吸收污水中的 NH<sub>3</sub>-N ,而主要是通过利用人工湿地床上砂石吸附的 NH<sub>3</sub>-N 促进其生长。NH<sub>3</sub>-N 对于水生植物是重要的影响因素<sup>[2-3]</sup> ,所以人工湿地对 NH<sub>3</sub>-N 去除率较高。夏、秋季是湿地植物的生长成熟期 ,微生物的数量和活性都较高 ,植物的代谢作用最强 ,可以在较短的时间利用氮素 ,所以在适合植物全年生长的城市建立人工湿地可有效控制 NH<sub>3</sub>-N。

图 4 试验结果表明 :人工湿地对 TN 的平均去除率均为 21.7%。人工湿地初期运行对 TN 的去除有限 ,去除率低于 9.0% ,随时间推移逐步好转 ,水温在 24~27℃ 运行效果最好 ,去除率达到 32.5% ,水温在 17~20℃ 以上去除率达到 28.6% ,冬季水温在 12~15℃ 运行去除率下降明显 ,降至 8.8%。推断 TN 的去除主要为依附于植物根系的微生物作用 ,人工湿地运行初期由于植物根系不发达导致的微生物作用较小 ,水温较高时 ,植物的根系生长深入水面后 ,其创造的厌氧、缺氧环境日益提高 ,TN 去除效果较好。水温低至 12~15℃ 时 ,虽然植物仍然维持存活 ,但植物根系微生物的活性下降较多 ,TN 去除率下降。试验结果表明 ,水温对 TN 有很大影响 ,植物主要利用 TN 中的 NH<sub>3</sub>-N ,人工湿地中的 TN 需要植物根系厌氧和缺氧环境中的反硝化细菌 ,而其因水温降低受影响明显<sup>[4]</sup>。

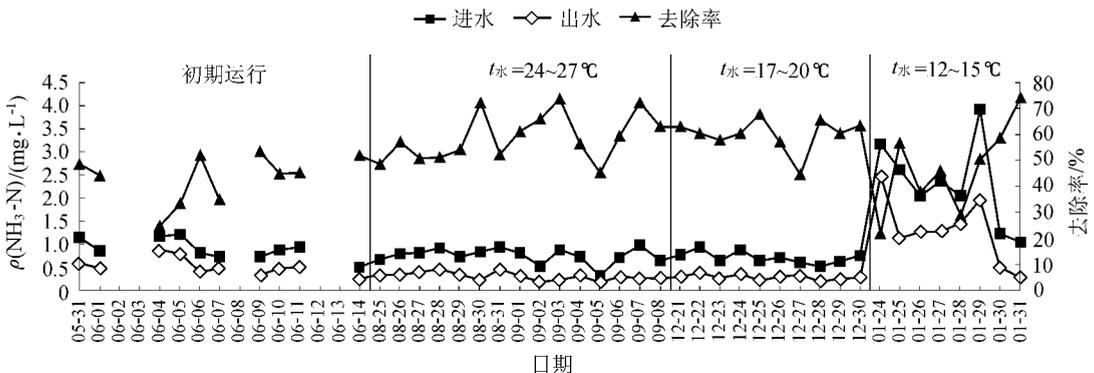


图3 湿地对 NH<sub>3</sub>-N 的去除

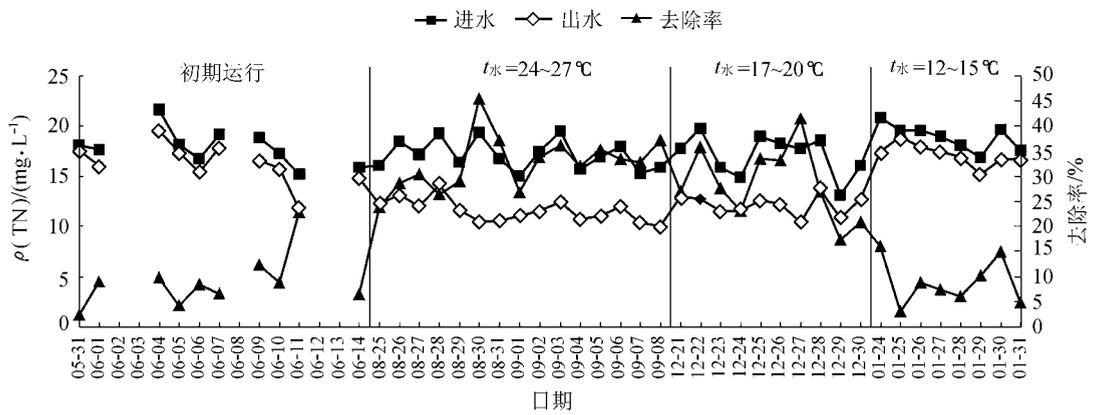


图4 湿地对 TN 的去除

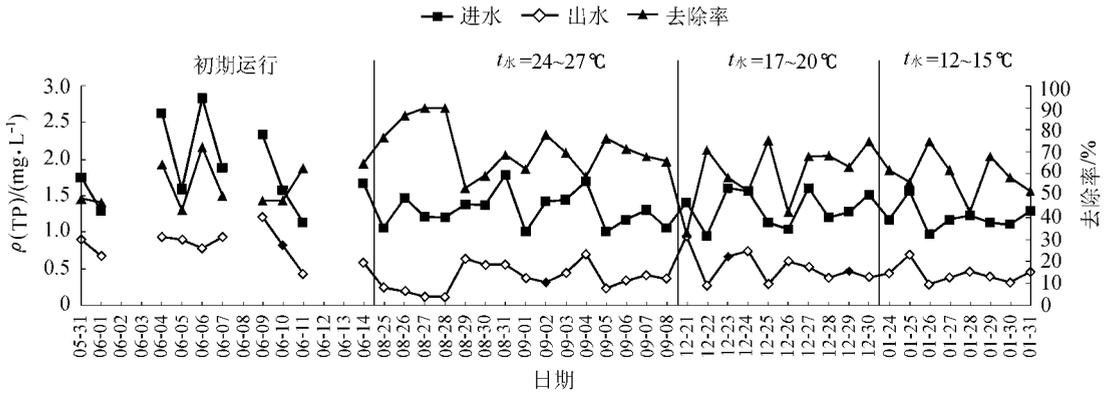


图5 湿地对 TP 的去除

运行结果表明,二级出水原水中的 TN 达标排放是非常重要的,湿地对其有不稳定的去除效果,难以长期满足不同季节和水温条件下的深度处理要求,尤其冬季应加以注意。植物对氮素利用的规律为植物优先利用 TN 中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  促进其生长,而且  $\text{NH}_3\text{-N}$  是主要吸附在填料上的, TN 的去除依赖植物根系反硝化细菌的活性。

### 2.3 对 TP 的去除

人工湿地对 TP 的去除见图 5, TP 去除率在试验期间变化不大,运行初期, TP 去除率为 54.9%,水温在 24~27℃ 运行效果最好,去除率达到 69.1%,水温在 17~20℃ 去除率也达到 60.6%,冬季水温在 12~15℃ 运行去除率下降不明显,为 59.4%。总体来说,湿地填料对 TP 去除贡献最高,而植物生长和水温变化对其影响较小。湿地填料对磷的吸附是引起 TP 下降的最重要原因,所以湿地对 TP 的去除效果较好且极为稳定。随着季节变化,人工湿地的处理效果变化不大。磷在人工湿地中的去除途径主要是依靠填料基质的吸附、沉淀作用。另外,吸附的磷可作为植物生长过程中的营养物质,植物吸收及同化作用也占有重要作用<sup>[5-7]</sup>。

## 3 结 语

a. 从人工湿地运行结果来看,经过生化处理后

的城市污水二级出水再经过人工湿地的深度处理, COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的去除率分别达到 36.7%、53.2%、21.7% 和 62.9%,对深圳这种常年水生植物均可成活的城市来说,建立人工湿地可以因地制宜地改善二级出水水质效果。

b. 试验期间,水温的变化对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 去除率的影响相对对 TN 的影响较小,人工湿地随季节的变化去除效率由大到小排序为夏季、秋季、冬季。当水温在 12~15℃ 的冬季时, TN 去除率下降很快,所以此阶段对 TN 的去除一般应在污水处理厂中解决,人工湿地对其发挥作用有限。

c. 植物生长越旺盛,出水各项指标中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的去除效果越好,尤其是夏季。湿地砂石是植物生长和过滤吸附污水的基础,对植物利用其固定的营养物质提供了媒介。

### 参考文献:

- [1] 蒋永荣,莫德清,段钧元,等.不同植物配置人工湿地冬季生活污水净化效果比较[J].水资源保护 2009 25(3): 25-28.
- [2] XIE Yong-hong, YU Dan, REN Bo. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants [J]. Aquat Bot 2004 80 29-37.

(下转第 81 页)

流冲刷作用和去除径流中颗粒物的目的,再经过砂床过滤处理后径流流入集水井<sup>[4]</sup>。该系统对雨水的净化效果明显好于植物浅沟、碎石浅沟等雨水收集处理设施。沿着该社区的户外小停车场和小广场边界设计了砂沟过滤系统,经过过滤汇入集水井的雨水水质较好,可用于冲洗车辆,也可直接溢流至景观湖。

## 5 结 语

雨水收集与综合利用是一种多目标的综合性措施,不仅节约水资源,而且在减小社区洪涝风险、涵养地下水源、减缓地面沉降、控制雨水径流污染、改善区域生态环境等方面具有广泛意义。试验社区每年回收利用的雨水量可能达到总降雨量的62%,经过简单处理后可满足小区每年的绿化浇灌、硬地冲洗以及湖面蒸发等消耗量,富余雨水可用作景观湖的重要补水水源。

在该社区构建的以景观湖为中心的雨水综合利用系统,各项技术措施合理地组合起来,构成一个高效有机整体。屋面雨水主要通过地下集蓄池来收集;绝大部分绿地、道路广场以及极少数屋面的雨水径流通过植草浅沟和碎石沟渠收集,并汇入暴雨塘系统内暂时储存。雨水径流的综合利用既依靠先进的雨水收集、贮存及处理技术,还依赖于日常管理工作。

## 参考文献:

[1] 刘琳琳,何俊仕.城市雨水资源化的实例分析[J].水资源

源保护 2007 23(6) 52-55.

- [2] 车武,李俊奇.城市雨水利用技术与管理[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [3] 李俊奇,余苹.城市雨水集蓄利用工程规模的优化[J].中国给水排水,2005,21(3):49-52.
- [4] 何强,柴宏祥.绿色建筑小区雨水资源化综合利用技术[J].环境工程学报,2008,2(2):205-207.
- [5] 李俊奇,李宝宏,张洁,等.住区雨水利用与景观水体水质保障工程设计[J].中国给水排水,2006,22(24):57-60.
- [6] GB50015-2003 建筑给水排水设计规范[S].
- [7] SL267—2001 雨水集蓄利用工程技术规范[S].
- [8] GB50378—2006 绿色建筑评价标准[S].
- [9] GB50015—2003 建筑给水排水设计规范[S].
- [10] GB50013—2006 室外给水设计规范[S].
- [11] 宁静,李田.上海市降雨特性统计与雨水存储池容积计算[J].中国给水排水,2006,22(4):48-51.
- [12] 张炜,车武,李俊奇等.植被浅沟在城市雨水利用系统中的应用[J].给水排水,2006,32(8):33-37.
- [13] GARY R M. Revisiting design criteria for storm water treatment system[J]. Stormwater, 2005, 6(2):7-12.
- [14] Division of Soil and Water Conservation, Virginia Department of Conservation and Recreation. Virginia Stormwater Management Handbook volume 1(First Edition)[M]. Richmond, VA, 1999.
- [15] 北京市市政工程设计研究总院.给水排水设计手册(第5册)城镇排水[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2005.

(收稿日期 2009-09-04 编辑 徐娟)

(上接第70页)

- [3] NI L. Effects of water column nutrient enrichment on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Beer[J]. J Aquat Plant Manage, 2001, 39: 83-87.
- [4] VYMAZAL J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands[J]. Science of the Total Environment, 2007, 38(1-3):48-65.
- [5] 张鸿,陈光荣,吴振斌,等.两种人工湿地中氮、磷净化率与细菌分布关系的初步研究[J].华中师范大学学报:自然科学版,1999,33(4):575-578.
- [6] LANIZKE I R, HERITAGE A D, PISTILLO G, et al. Phosphorus removal rates in bucket size planted wetlands with a vertical hydraulic flow[J]. Water Res, 1998, 32:1280-1286.
- [7] 詹鹏,王湘英,朱建林,等.梯田式人工湿地处理生活污水的初步研究[J].水资源保护,2008,24(1):27-30.

(收稿日期 2010-02-10 编辑 徐娟)

## ·简讯·

水文水资源学术研讨会 10月下旬在宁召开

为纪念我国著名水文学家、教育家、新中国水文高等教育的奠基人、河海大学博士生导师刘光文教授百年诞辰,河海大学和水利部水文局决定于今年河海大学校庆期间(2010年10月26-27日)在南京举办水文水资源学术研讨会,旨在研讨水文学与水资源学科的发展战略,交流近年来水文科学研究的新进展和发展趋势,活跃学术气氛,激励广大水文水资源科技工作者的积极性和创造性,不断推动新时期的水文水资源科技工作。会议主题为:①水文水资源基础理论;②水文预报技术;③水文水资源信息技术;④水文水资源不确定性与水灾害风险评估;⑤变化环境下水资源可持续利用和水环境保护。

(本刊编辑部供稿)