

芦苇和美人蕉及薄荷用作人工湿地植物对中水的净化效果

盛辛辛, 曹谨玲, 赵凤岐*, 刘青

(山西农业大学动物科技学院, 山西 太谷 030801)

摘 要: 分别以芦苇、美人蕉和薄荷为植被, 构建潜流人工湿地植物床, 研究这 3 种植物对中水中的氮、磷和 COD 的净化效果, 结果表明: 芦苇组对氨氮的去除效果最好, 去除率最高可达 85.43%, 芦苇组和美人蕉组对硝酸氮的平均去除率(各测定时间的平均值, 下同)都大于薄荷组和对照组, 对总氮的平均去除率表现为芦苇组(76.30%)、美人蕉组(76.19%)、薄荷组(61.60%)、对照组(46.99%)依次减小; 薄荷组对总磷和活性磷的平均去除率分别为 51.11%、71.89%, 是 3 个试验组中去除率最高的, 其次是美人蕉组; 3 种植物对 COD 的去除效果相近, 都大于对照组, 其中美人蕉组的去除率最高, 最高可达 77.76%。

关 键 词: 人工湿地植物; 芦苇; 美人蕉; 薄荷; 中水; 净化

中图分类号: S969.38

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)04-0423-06

Purification effects of reeds, canna and coleus in constructed wetland on reclaimed water

SHENG Xin-xin, CAO Jin-ling, ZHAO Feng-qi*, LIU Qing

(College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: To analysis the removal effects of three plants on nitrogen, phosphorus and COD in reclaimed water, reeds (*Phragmites australis*), canna (*Canna indica*), and coleus (*Mentha haplocalyx*) was planted in a subsurface flow constructed wetland. The results showed that: ①The removal effect of reeds on ammonia nitrogen was the best, and the removal rate can reach 85.43%. The removal rates of reeds and canna on nitrate-nitrogen were higher than that of coleus and control group. The TN removal rate was 76.30% with reeds, 76.19% with canna, 61.60% with coleus, and 46.99% with contrast group, respectively. ②The average removal rate of coleus on total phosphorus and active phosphorus were 51.11% and 71.89%, respectively, better than that of canna and reed. ③The COD removal efficiency of the three test groups were similar and higher than that of the control group. The removal efficiency of canna group was best, which could reach 77.76%.

Key words: constructed wetland plant; *Phragmites australis*; *Canna indica*; *Mentha haplocalyx*; reclaimed water; purification

中水是经过城市污水处理厂处理后达到国家二级排放标准的能回用于农田、城市草坪、树木灌溉等方面的非饮用水。因中水处于高富营养化状态, 所以中水不能直接应用于城市景观、生态养殖

等方面。随着中国水资源短缺问题的加剧, 中水的再处理和回用已受到各国政府环保部门的高度重视。人工湿地是通过模拟自然湿地而人为设计与建造的由基质、植物、微生物和水体组成的对污水进

收稿日期: 2013-01-04

基金项目: 山西省科技攻关项目(20090311076-1); 山西省教育厅项目(200811009)

作者简介: 盛辛辛(1986—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事人工湿地与水产养殖研究, xuanlv101@163.com; *通信作者, nongdazhaofengqi@sohu.com

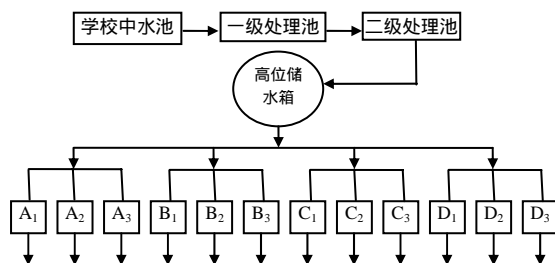
行净化的复合体^[1]。近年来,人工湿地作为一种新型的污水处理技术在世界各地被广泛应用。在人工湿地中发挥净化作用的湿地植物具有观赏价值高、可收割、资源便于回收等优点,可吸收利用废水中的氮、磷等营养物质和富集水体中的有毒、有害物质,其发达的根系也可为微生物提供多样的生境。湿地植物种类繁多,地域性强,去污能力不同,不同植物的去污效果也不相同^[2-7]。笔者比较山西常见的湿地植物芦苇、美人蕉和薄荷对中水中氮、磷的去除效果,旨在为湿地植物的筛选和中水的再利用提供参考。

表1 湿地进水的水质指标

指标值	质量浓度/(mg·L ⁻¹)					
	COD _{Mn}	氨氮	硝酸氮	总氮	总磷	活性磷
范围	10.2~21.3	5.3~16.8	0.05~0.17	6.8~19.4	0.7~2.2	0.3~1.7
平均值	16.46	8.44	0.07	12.32	1.04	0.69

1.2 试验设计

试验时间为2011年6—10月。植物床系统由12个0.9 m×0.6 m×0.6 m的玻璃钢箱组成。进水采用自制打孔PVC管布水。出水口位于箱体底部,连接PVC出水管。试验共设3个试验组和1个对照组。每个试验组各种植1种植物,对照组不种植植物。每组3个重复。湿地基质按粒径大小自下而上铺设,即自上而下具体为粗炉渣、石灰石、碎石、粗砂。采用连续进水,水位保持在粗沙层以上5~8 cm。每20 d采样1次。试验装置示意图见图1。



A、B、C、D 分别为芦苇组、美人蕉组、薄荷组、对照组; 1、2、3 为试验编号; 箭头代表水流方向。

图1 试验装置平面图

Fig.1 Plan map of test device

1 材料与方方法

1.1 材料

以芦苇(*Phragmites australis*)、美人蕉(*Canna indica*)和薄荷(*Mentha haplocalyx*)为植被,构建潜流人工湿地植物床,其中,芦苇取自山西农业大学牧站,美人蕉和薄荷取自山西农业大学花圃。

湿地填料为粗炉渣、石灰石、碎石、粗砂,其中粗炉渣取自学校锅炉房,其余材料均购自太谷县建材市场。湿地进水采用山西农业大学污水处理站初步处理后的中水,其水质指标见表1。

1.3 测定指标及方法

氨氮含量采用纳氏试剂法测定;亚硝酸氮含量采用重氮化偶氮比色法测定;硝酸氮含量采用酚二磺酸法测定;总氮含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定;总磷含量采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定;活性磷含量采用钼蓝法测定;COD含量采用碱性高锰酸钾法测定。

1.4 数据处理

运用SPSS19.0统计软件对试验数据进行处理。通过单因子方差分析和Duncan's多重比较进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 3种植物对氮的去除效果

由图2可知,芦苇组、美人蕉组、薄荷组、对照组对氨氮的平均去除率(7个测定时间的平均值,下同)分别为77.03%、60.06%、42.50%、28.03%,其中芦苇组对氨氮的最高去除率达85.43%;除7月芦苇组与美人蕉组的差异无统计学意义外($P>0.05$),其余测定时间芦苇组对氨氮的去除率都显著高于其他2个试验组($P<0.05$)。整体而言,芦苇组对氨氮的去除效果最好,其次是美人蕉组。

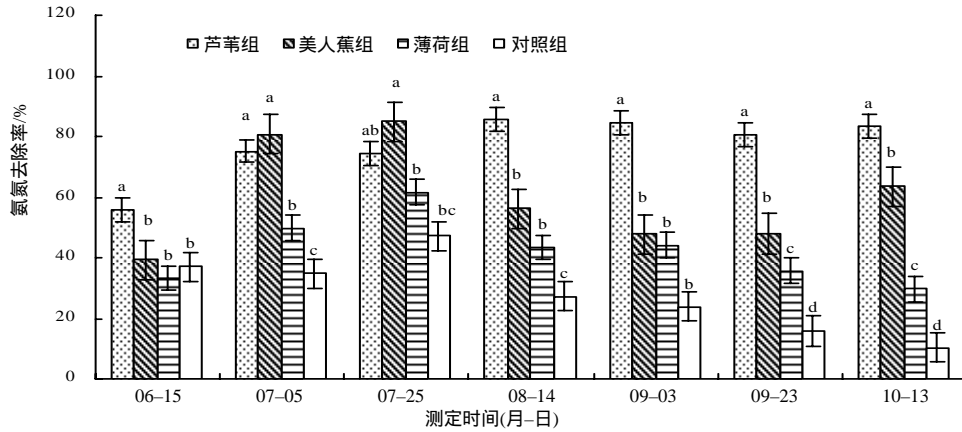


图2 各处理不同测定时间的氨氮去除率

Fig.2 Removal efficiency of ammonia nitrogen of each group at different time

就硝酸氮去除率(图3)而言,3个试验组09-03测定结果间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。3种植物对硝酸氮的平均去除率芦苇组(45.16%)、美人蕉组

(44.67%)、薄荷组(35.86%)依次减小,其中8月美人蕉组对硝酸的去除率达到最高(61.44%)。

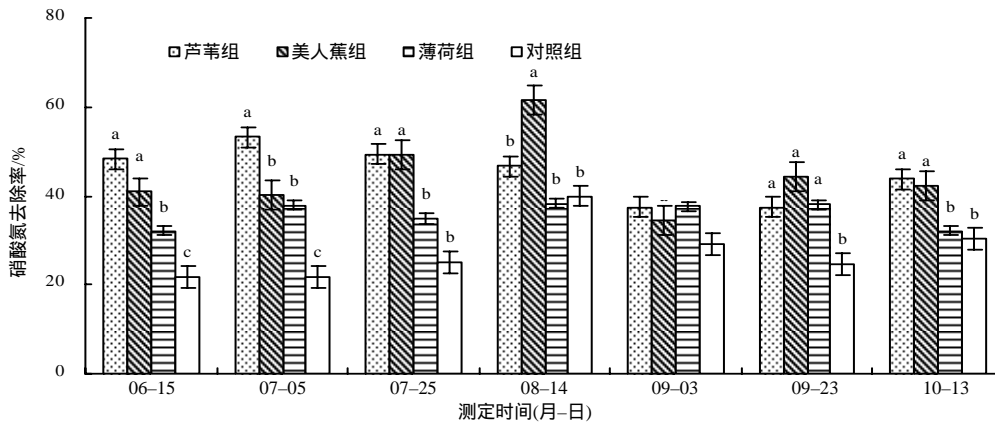


图3 各处理不同测定时间的硝酸氮去除率

Fig.3 Removal efficiency of nitrate-nitrogen of each group at different time

就总氮的去除效果(图4)而言,06-15和07-05的测定结果为美人蕉组显著大于其余2个试验组($P <$

0.05), 芦苇组(76.30%)、美人蕉组(76.19%)、薄荷组(61.60%)的总氮平均去除率依次减小。

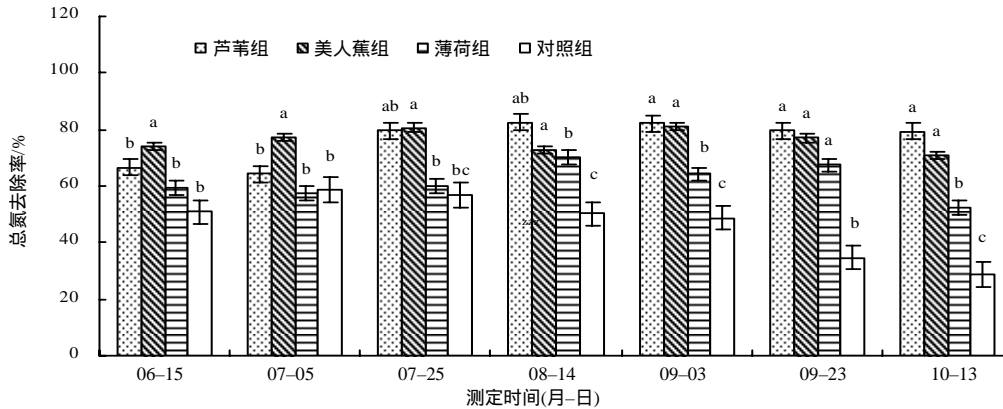


图4 各处理不同测定时间的总氮去除率

Fig.4 Removal efficiency of total nitrogen of each group at different time

2.2 3种植物对磷的去除效果

由图5可知,3个试验组对活性磷的去除效果不稳定,06-15和08-14各试验组和对照组的活性磷去除率间差异无统计学意义;9月美人蕉组和薄荷组

活性磷去除率间的差异无统计学意义,但均显著高于芦苇组。3个试验组活性磷的各测定时间平均去除率表现为薄荷组、美人蕉组、芦苇组依次减小。

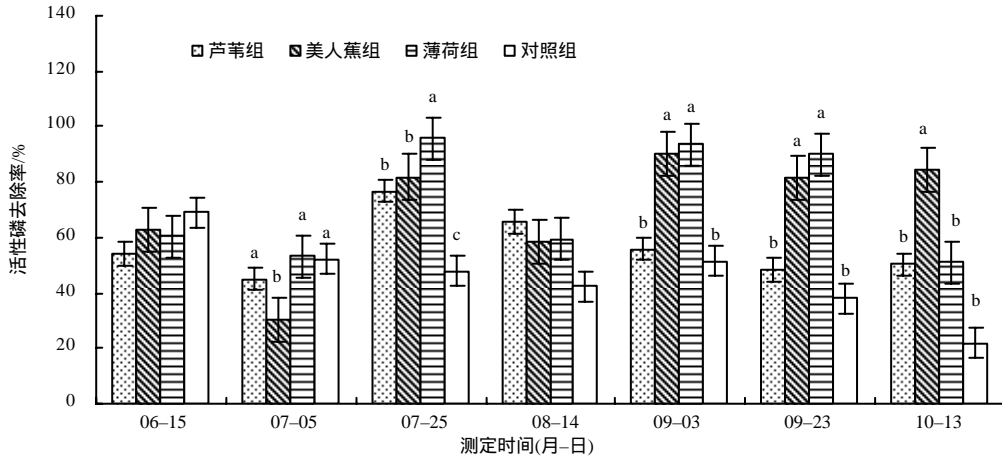


图5 各处理不同测定时间的活性磷去除率

Fig.5 Removal efficiency of active phosphorus of each group at different time

由图6可知,在06-15、07-25、08-14、09-03 3个试验组的总磷去除率间差异无统计学意义($P > 0.05$)。07-05薄荷组对活性磷的去除率显著高于美人蕉组和薄荷组。09-23美人蕉组和薄荷组的总磷

去除率间的差异无统计学意义。各测定时间3个试验组总磷的各测定时间平均去除率表现为薄荷组(51.11%)、美人蕉组(45.23%)、芦苇组(38.51%)依次减小。

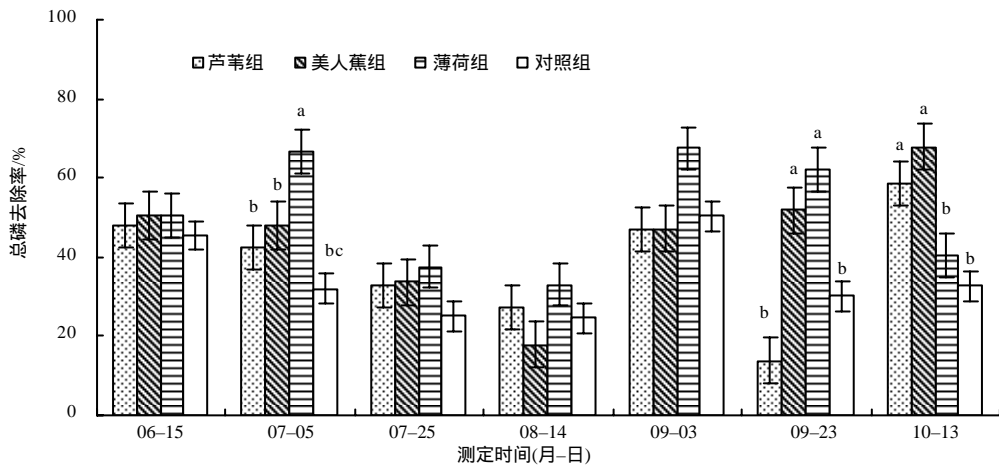


图6 各处理不同测定时间的总磷去除率

Fig.6 Removal efficiency of total phosphorus of each group at different time

2.3 3种植物对COD的去除效果

由图7可知,除06-15外的其余测定时间,3个试验组对COD去除率间的差异无统计学意义($P > 0.05$),在7、8月3个试验组对COD的去除率均显著大于对照组($P < 0.05$),9月各试验组COD去

除率间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。3个试验组的COD各测定时间平均去除率表现为美人蕉组(64.82%)、芦苇组(62.97%)、薄荷组(53.38%)依次减小,表明美人蕉组对COD的去除效果最好,其次是芦苇组。

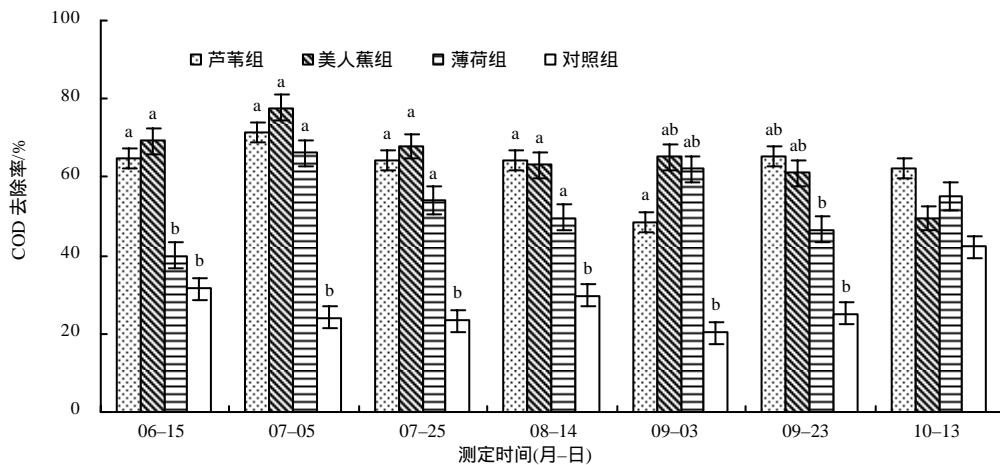


图7 各处理不同测定时间的COD去除率

Fig.7 Removal efficiency of COD of each group at different time

3 结论与讨论

a. 3种植物对氮的去除效果。湿地植物对氮的去除作用主要是氨的挥发作用和 NH_4^+ 的交换作用及吸收、硝化和反硝化作用等^[8]。本试验在基质相同的前提下, 芦苇组、美人蕉组和薄荷组的氨氮各测定时间平均去除率分别为77.03%、60.06%和42.50%, 对总氮的平均去除率分别为76.30%、76.19%和61.60%, 对硝酸氮的平均去除率分别为45.16%、44.67%和35.86%。本试验中的总氮去除率高于赵丽娜等^[9]在春季的试验结果(芦苇组58.84%、美人蕉组20%), 这说明湿地植物对氮的去除效果与季节、温度和植物生长有关。本试验中美人蕉组的总氮去除率与王全金等^[10]的试验结果相近。Garcfa等^[11]研究宽叶香蒲和芦苇对硝酸盐和亚硝酸盐的去除效果, 发现人工湿地中植物根系是硝化作用和反硝化作用的重要部位。对照组无植物, 没有植物向下输送氧, 不利于基质微生物的硝化作用, 对总氮的去除率也最低。Munch等^[12]采用实验室模拟人工湿地, 研究芦苇根系在湿地污水净化中的作用, 发现广阔的根系环境可以提高对N的去除率。本试验中选取的湿地植物芦苇生长旺盛, 其根系发达且深, 有利于氧气的输送。美人蕉根茎粗壮, 生物量大。相对于薄荷, 芦苇和美人蕉的根系更有利于硝化作用和反硝化作用的进行, 因而其去氮效果较好。

b. 3种植物对磷的去除效果。活性磷能被植物、细菌和藻类直接利用, 是湖泊等地表水体中的一种

限制性营养盐。磷的去除一方面是以磷酸盐的形式沉降并固结在基质上, 另一方面是被植物吸收。魏成等^[13]的研究结果表明, 美人蕉系统对总磷的去除率高于芦苇, 本研究结果与其一致。本试验中, 薄荷组对活性磷和总磷的去除率分别为71.89%和51.11%, 分别比美人蕉组高1.99%和5.88%, 比芦苇组高20.78%和12.6%。

c. 3种植物对COD的去除效果。人工湿地对COD的去除主要取决于附着在基质和植物根系上微生物的降解作用^[14]。有机物通过植物根际微生态环境吸附, 经过异化及同化作用而得以去除^[15]。本试验中, 美人蕉组和芦苇组对COD的去除率相近, 且都高于薄荷组, 这与3种植物根系的发达程度有关。美人蕉和芦苇发达的根系能把空气中的氧通过叶片输送到植物的根区, 为基质和根区微生物群落大量生长繁殖提供适宜的微生态环境, 从而增强对有机物的去除效果。薄荷根系浅, 输送氧的深度和范围相对较小, 对COD的去除作用较弱。

本研究中7、8月3个试验组对COD的去除率都显著高于对照组, 这是由于与未种植植物的系统相比, 植物生长越茂盛的系统对COD的去除率越高^[16]。另外, 植物根系的确能够改善系统水的流态, 植物系统死区率比无植物系统少5%~10%^[17], 这说明植物是人工湿地去除有机物不可缺少的一部分。

目前, 国内外未见以薄荷作为湿地植物的研究。薄荷属多年生草本植物, 是一种有特种经济价值的芳香植物, 在北方的河流湿地、河沟里有大量

生长,引种方便。本试验小试系统运行2年,薄荷能够顺利越冬,第2年不用重新种植,且耐受水淹,对活性磷和总磷的最高去除率分别达95.62%和67.45%,对氮有较好的去除效果,可作为人工湿地选择的植物之一。

参考文献:

- [1] Zhang Ting, Dong Xu, Wu Zhenbin, et al. Application of constructed wetland for water pollution control in China during 1990–2010[J]. *Ecological Engineering*, 2012, 47: 189–197.
- [2] 袁东海,高士祥,任全进,等.几种挺水植物净化生活污水总氮和总磷效果的研究[J].*水土保持学报*, 2004, 18(4): 77–80.
- [3] Naylor S, Brisson J, Labelle M A, et al. Treatment of freshwater fish farm effluent using constructed wetlands: The role of plants and substrate[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(5): 215–224.
- [4] 李连发,冯义龙,马跃.人工湿地植物的选择[J].*南方农业*, 2010, 10(4): 46–50.
- [5] 杨骏.人工湿地及湿地植物处理路面径流污水研究[D].南京:南京林业大学土木工程学院,2009.
- [6] 崔丽娟,李伟,张曼胤,等.不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献[J].*湖泊科学*, 2011, 23(2): 203–208.
- [7] 邓靖,王学刚,吕锡武.不同湿地植物对扎染废水处理效果的研究[J].*中国给水排水*, 2010, 26(7): 86–89.
- [8] 蒋廷杰,齐增湘,罗军,等.人工湿地水质净化机理与生态工程研究进展[J].*湖南农业大学学报:自然科学版*, 2010, 36(3): 358–362.
- [9] 赵丽娜,丁为民,鲁亚芳.几种春季湿地植物对污水中主要污染物去除效果的比较[J].*污染防治技术*, 2007, 20(1): 25–27.
- [10] 王全金,李丽,李忠.4种植物潜流人工湿地脱氮除磷的研究[J].*环境污染与防治*, 2008, 30(2): 33–36.
- [11] Garcfa Lledo A, Ruiz Rueda O, Vilar Sanz A. Nitrogen removal efficiencies in a free water surface constructed wetland in relation to plant coverage[J]. *Ecological Engineer*, 2011, 37(5): 678–684.
- [12] Munch C H, Kusch P, Roske I. Root stimulated nitrogen removal: Only a local effect or important for water treatment[J]. *Water Science and Technology*, 2005, 51(9): 185–192.
- [13] 魏成,刘平,秦晶.不同基质和不同植物对人工湿地净化效率的影响[J].*生态学报*, 2008, 28(8): 3691–3697.
- [14] 刘洋,王世和,黄娟,等.两种人工湿地长期运行效果研究[J].*生态环境*, 2006, 15(6): 1156–1159.
- [15] 刘佳,王泽民,李亚峰,等.潜流人工湿地系统对污染物的去除与转化机理[J].*环境与生态*, 2005, 31(2): 53–57.
- [16] Villasenor J, Mena J, Fernandez F J, et al. Kinetic of domestic wastewater COD removal by subsurface constructed wetlands using different plant species in temperate period[J]. *Environmental Analytical Chemistry*, 2011, 91(7/8): 693–707.
- [17] 张荣社,李广贺,周琪,等.潜流湿地中植物对脱氮除磷效果的影响中试研究[J].*环境科学*, 2005, 26(4): 83–86.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 库