

文章编号:1000-5641(2010)02-0050-08

# 净化槽水质改善与植物生理日变化 关系的研究

赵丰, 卢晓明, 黄民生, 陈建军

(华东师范大学 资源与环境科学学院 城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

**摘要:** 试验设定曝气和非曝气的两组工况植物净化槽, 在一天中不同时间点测定净化槽的出水水质及植物根组织过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性与叶片可溶性蛋白(SP)、叶绿素(Chla)含量. 分析了污染物去除与植物(睡莲)生理特性日变化的相关性及曝气对水质净化及植物生理的影响机制. 结果表明: 两组工况净化槽内植物生理特性与水质理化指标均在一定程度上受到光强变化的影响, 植物根组织 POD, CAT 活性及叶片 Chla, SP 含量与净化槽 DO 浓度,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TP 去除率间呈正相关; 曝气对植物根组织 POD, CAT 活性及叶片 SP, Chla 含量影响显著; 曝气净化槽的出水 DO 浓度,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TP 去除率分别高出非曝气净化槽 2.54 mg/L, 21.0%, 16.6% 和 14.1%.

**关键词:** 净化槽; 睡莲; 曝气; 植物生理特性; 污染物去除

**中图分类号:** X172 **文献标识码:** A

## Study on the relationship between water quality improvement and *Nymphaea tetragona* physiological diurnal variation in purification tanks

ZHAO Feng, LU Xiao-ming, HUANG Min-sheng, CHEN Jian-jun

(School of Resource and Environmental Sciences, Shanghai Key Lab of Urbanization and Eco-restoration,  
East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** With the non-aeration(I) and aeration(II) conditions of two aquatic plant purifying-tanks, the changes of plant physiological traits including the activities of POD, CAT, and the contents of SP, Chla, and the main physical water quality in a day at different times, were observed. Correlation between diurnal variation of plant physiological traits and removal efficiencies of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP were analyzed, and the effect of aeration to plant physiological traits and the purifying effect were studied. The results showed that the plant physiology and the water quality index were affected by the light intensity changes to some extent. The physiological traits

收稿日期:2009-03

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX07317-006);上海市科技攻关重点课题(062312019);上海市城市化生态过程与生态修复重点实验室自主研究项目

第一作者:赵丰,男,硕士研究生. E-mail: zfeng223@163.com.

通讯作者:黄民生,男,教授,博士生导师,研究方向为水污染控制工程. E-mail: mshuang@des.ecnu.edu.cn.

of *Nymphaea tetragona* had positive correlations with the removal efficiencies of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP. Aeration affected the activities of POD, CAT and the contents of SP, Chla significantly; the water quality of two conditions of purification tanks were affected by the variation of light intensity. The content of DO and the removal efficiencies of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP in the condition II exceeded the condition I by 2.54 mg/L, 21.0%, 16.6% and 14.1%, respectively.

**Key words:** purification tank; *Nymphaea tetragona*; aeration; plant physiological traits; pollutant removal

## 0 引 言

利用景观水生植物对城市水环境进行水质净化和生态修复已得到国内外的广泛认同<sup>[1-3]</sup>. 水生植物的净水效果与它们的生理活性与紧密相关. 目前研究水生植物净水效果的报道较多,但同时考察其生理活性的尚少. 植物叶片叶绿素(Chla)、可溶性蛋白(SP)含量及根系抗性酶(POD,CAT)活性与植物生境密切相关<sup>[4-6]</sup>. 有关曝气和非曝气条件下水生植物净化黑臭河水过程中水质改善指标和植物生理指标的日变化过程监测及其相关性分析的研究,目前尚未见文献报道.

本文以上海市工业河黑臭河水为研究对象,构建了曝气和非曝气两种工况水生植物净化槽,分析和探讨了在秋季的一天中(2008年10月11日)水质改善效果和植物生理活性的日变化过程及其相互关系,旨在为该技术的系统构建及运行调控提供科学依据.

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验采用的多年生浮叶植物睡莲(*Nymphaea tetragona*)购自于上海泽龙生物工程有限公司. 试验当天河水的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP 平均浓度分别为 89.5, 20.7, 18.6 和 0.6 mg/L.

### 1.2 试验装置

试验系统位于工业河勤丰泵站入水口西南侧的空地,占地约 20 m<sup>2</sup>. 整个系统由 1 个平衡水箱(上部尺寸 1 500 mm×1 200 mm,下部尺寸 1 450 mm×950 mm,深 1 000 mm)和 7 个并联的净化槽(上部尺寸 1 200 mm×1 000 mm,下部尺寸 1 150 mm×850 mm,深 800 mm)组成(见图 1). 平衡水箱设有溢流管用于平衡水位,保持出水压力恒定,使各个净化槽的进水均匀,河水通过水泵送入平衡水箱,由水箱上设置的固定出水管流入 7 个净化槽内,余水返回河道. 各净化槽内水深由出水管控制在 60 cm 且每个净化槽中间用挡板隔开,留出离槽底高约 20 cm 的过流断面,以平衡槽内的水流分配. 采用 3 台曝气机(ACO-005 型)分别对 4<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup>, 6<sup>#</sup> 净化槽进行曝气,通气量为 3 m<sup>3</sup>/h. 设 CK 为空白对照槽,1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup> 为工况一(植物)的 3 个平行净化槽,4<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup>, 6<sup>#</sup> 为工况二(植物+曝气)的 3 个平行净化槽.

### 1.3 试验方法

试验前,用工业河黑臭河水对睡莲的根茎在塑料盆中驯化 2 周,选择 60 棵大小均匀(高约 12 cm)的睡莲幼苗移入两种工况的 6 个净化槽各 10 棵. 净化槽采用连续进出水方式,设计的水力负荷最大值 2.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d),相应流量为 1.5 m<sup>3</sup>/d,水力停留时间为 8 h,运行期

间工况二净化槽每天 8:00~20:00 进行间歇曝气. 整个系统的运行时间为 2008 年 2 月 26 日至 11 月 6 日.

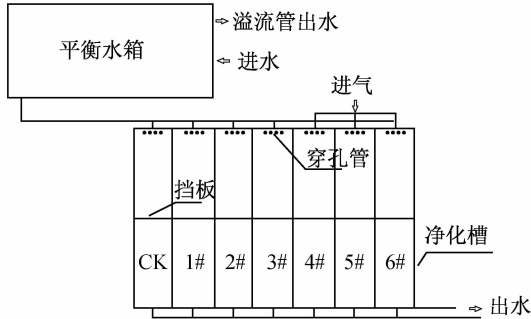


图 1 植物净化槽系统平面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of plant purifying-tanks

#### 1.4 分析项目及方法

2008 年 10 月 11 日, 晴, 气温 26~32 °C. 在两组工况净化槽的睡莲中分别随机选定 5 棵, 按不同时间(8:00, 10:00, 12:00, 13:00, 14:00, 16:00 和 18:00)从每棵选定植株上采取根(须根)、叶片(最上叶)各 0.400 g(湿重); 从各净化槽出水口处采集对应时间的水样, 用标准方法(见表 1)分析各指标.

表 1 监测指标的分析方法

Tab. 1 Analytic methods of items measured in water

样品	监测指标	分析方法
水样	COD <sub>Cr</sub>	重铬酸钾法 <sup>[7]</sup>
水样	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂比色法 <sup>[7]</sup>
水样	TP	钼酸铵分光光度法 <sup>[7]</sup>
水样	DO 和 pH 值	YS158 型便携式溶氧仪 <sup>[7]</sup>
-	光强	TPS-1 便携式光合测定仪 <sup>[7]</sup>
植物(叶)	叶绿素(Chla)	丙酮-乙醇提取法 <sup>[8]</sup>
植物(叶)	可溶性蛋白(SP)	考马斯亮兰法 <sup>[9]</sup>
植物(根)	过氧化物酶(POD)	愈创木酚法 <sup>[10]</sup>
植物(根)	过氧化氢酶(CAT)	紫外分光光度法 <sup>[11]</sup>

#### 1.5 数据分析

图表中每个指标数据点均为各组工况 3 个平行槽的数据平均值, 并使用 SPSS 11.0 软件进行统计分析和比较.

## 2 结果与分析

### 2.1 光照强度变化

试验当天, 对一天中 7 个时段(8:00, 10:00, 12:00, 13:00, 14:00, 16:00 和 18:00)的光照强度进行比监测, 发现一天内光强随时间顺序出现先升高后降低的变化规律, 光强最大值出现在一天中的 13:00 时段(见表 2).

表 2 光强日变化

		Tab. 1 Diurnal variation of sunlight					$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	
测定时间		8:00	10:00	12:00	13:00	14:00	16:00	18:00
光强		698	1 167	1 497	1 704	1 625	1 092	758

## 2.2 水质理化指标变化

### 2.2.1 DO 浓度和 pH 值变化

由图 2 可见,各净化槽出水 DO 浓度相应出现先升高后降低的变化趋势,并且在 13:00 出现峰值. 工况一与工况二净化槽的 DO 浓度日均值分别为 1.48 mg/L 和 4.02 mg/L,均明显高于空白对照槽(CK 日均值为 0.55 mg/L),这说明光照的增强导致植物蒸腾效应明显有利于植物的根系泌氧作用,增加了河水中溶解氧,而曝气对河水的增氧效果更加显著. 由于黑臭河水的耗氧速率很高,仅靠植物的光合作用供氧,其净化槽出水仍然不能达到 V 类水标准要求<sup>[12]</sup>.

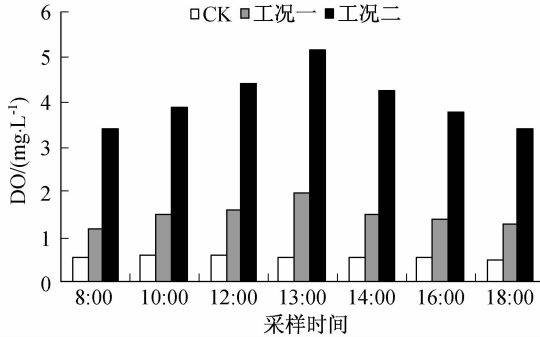


图 2 各工况净化槽的 DO 浓度日变化

Fig. 2 Diurnal variations of DO contents in water from purifying-tanks

由图 3 可见,净化槽出水的 pH 值在一天内也呈现出规律性变化,13:00(见图 2)时各净化槽城市的 pH 值最低;工况一与工况二净化槽的 pH 值明显低于空白对照槽(CK). 河水中较高 DO 浓度促进了氨氮的硝化,并消耗了河水中一定量的碱性物质;同时,植物根系吸收氨氮,氨氮与根系上的  $\text{H}^+$  发生交换,使得水中  $\text{H}^+$  增多,导致 pH 值降低.

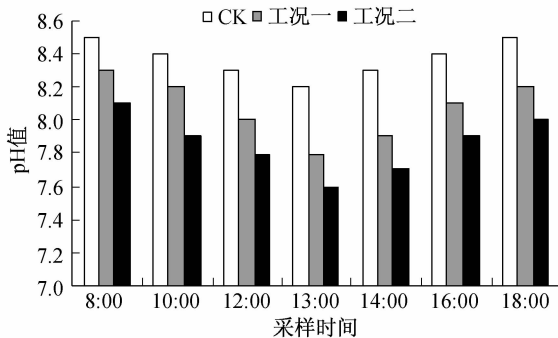


图 3 各工况净化槽的 pH 值日变化

Fig. 3 Diurnal variations of pH values in purifying-tanks

### 2.2.2 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 去除效果变化

表 2 与图 4-6 表明,随着光照强、弱变化,两组工况净化槽的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TP 去除率呈对应升、降变化;在 13:00 左右,它们的均值均高于其他时段,呈现峰值.由于此时光强最强,导致植物蒸腾作用明显,使通过蒸腾吸收而去除的氮磷增多,植物泌氧较多,导致河水 DO 浓度较高,有利于微生物净化河水中污染物<sup>[13]</sup>.由于曝气的作用,河水 DO 浓度的升高有利于丰富植物根区微生物种群结构,植物工况二净化槽相同时间段的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , TP 去除率均高于工况一净化槽,同样也说明了增氧对污染物净化的重要性<sup>[14]</sup>.

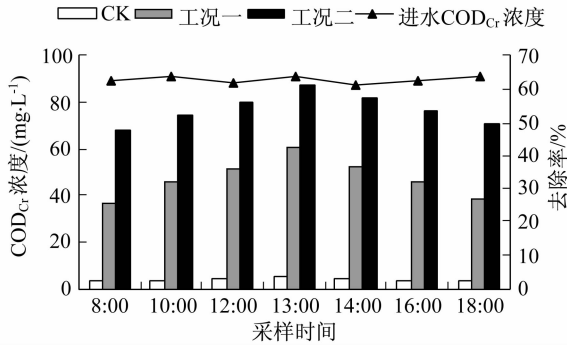


图 4 各工况净化槽的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  去除率日变化

Fig. 4 Diurnal variations of removal efficiency of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  in purifying-tanks

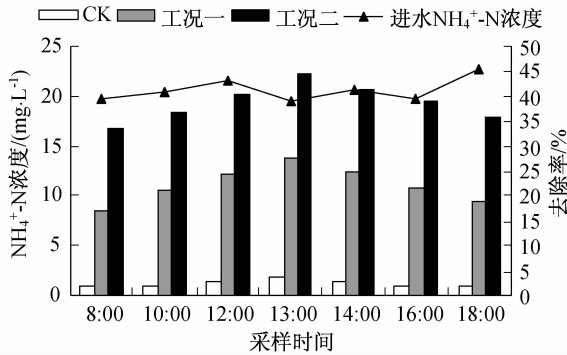


图 5 各工况净化槽的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除率日变化

Fig. 5 Diurnal variations of removal efficiency of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  in purifying-tanks

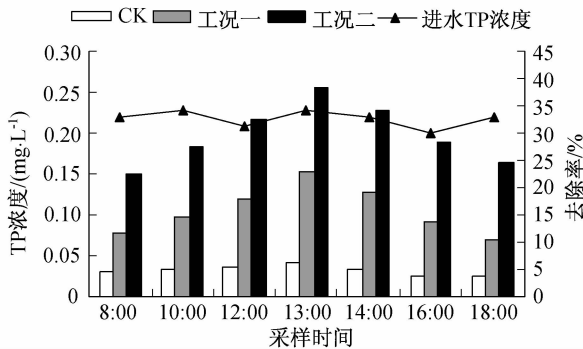


图 6 各工况净化槽的 TP 去除率日变化

Fig. 6 Diurnal variations of removal efficiency of TP in purifying-tanks

### 2.3 植物生理指标(Chla,SP,POD 和 CAT)变化

表 2 与图 7-10 表明:随着光照强、弱变化,两组工况净化槽植物的根组织 CAT,POD 活性与叶片 SP,Chla 含量均呈升、降变化;在 13:00 时,植物根组织 CAT,POD 活性与叶片 SP,Chla 含量明显高于其他时段,均呈现峰值;工况二净化槽植物根组织 CAT,POD 活性高于工况一净化槽,其单位质量总活性均值分别高出 0.25  $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$  和 0.21  $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ;工况一净化槽植物叶片 SP,Chla 单位质量含量均值分别高出工况二净化槽 31.33, 0.516 4  $\text{mg}/\text{g}$ . 通过 SPSS 15.0 软件对两组工况植物生理指标分析得知,曝气对植物根组织 CAT,POD 活性影响显著( $P < 0.05$ ),曝气净化槽(工况二)植物根组织 CAT,POD 活性高于非曝气净化槽(工况一);曝气对植物叶片 SP,Chla 单位质量含量影响显著( $P < 0.05$ ),非曝气净化槽植物叶片 SP,Chla 单位质量含量高于曝气槽植物.

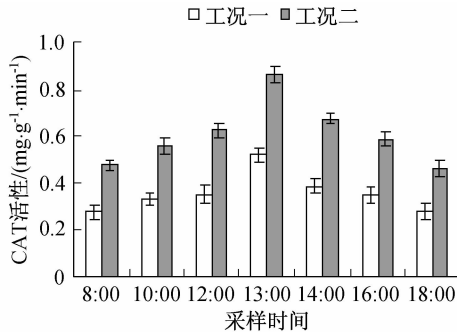


图 7 各工况植物根组织 CAT 活性的日变化

Fig. 7 Diurnal variation of CAT activities of the roots tissues in plants

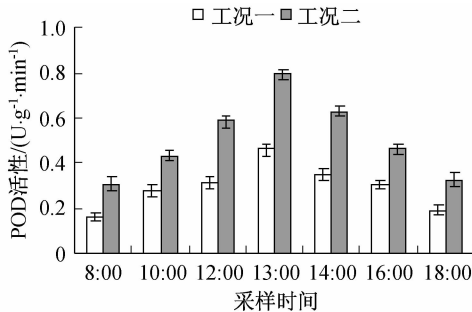


图 8 各工况植物根组织 POD 活性的日变化

Fig. 8 Diurnal variation of POD activities of the roots tissues in plants

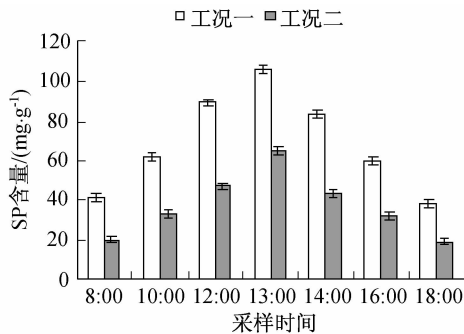


图 9 各工况植物叶片 SP 含量的日变化

Fig. 9 Diurnal variation of SP contents of the leaves in plants

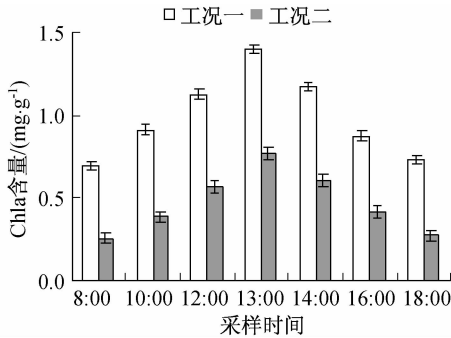


图 10 各工况植物叶片 Chla 含量的日变化

Fig. 10 Diurnal variation of Chla contents of the leaves in plants

非曝气净化槽(工况一)中,植物的根组织 POD, CAT 活性较低,而叶片 SP, Chla 含量较高,植株形态、生物量和分蘖数量较大,根密度较高,植物泌氧量较多,对污染物去除有利<sup>[16,17]</sup>. 在曝气净化槽(工况二)中,由于曝气产生的大量气泡并引起的水流搅动,在一定程度上恶化了植物的生境,对植物根系可能有损伤作用<sup>[18]</sup>,影响植物的生理生长,而植物对这种逆境恶化做出响应,表现出:其体内 CAT, POD 活性较非曝气净化槽(工况一)明显增强,而 SP, Chla 含量明显下降. 虽然曝气不利于净化槽中植物的生长,但是曝气进一步增加了河水中溶解氧,促进了污染物的去除.

### 3 结 论

本文研究了秋季曝气和非曝气两种工况条件下植物净化槽处理黑臭河水过程中睡莲生理活性和污染物去除效果的日变化,初步分析了植物生理活性日变化与污染物去除效果日变化之间的对应关系及其机理,得出如下结论.

(1) 随着一天中光照强、弱变化,植物根组织 POD, CAT 活性,叶片 Chla, SP 含量与净化槽出水 DO 浓度, COD<sub>Cr</sub>, TP, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率间呈正相关;曝气和非曝气净化槽出水 DO 浓度及 COD<sub>Cr</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TP 去除率峰值均出现在 13:00.

(2) 曝气对植物根组织 POD, CAT 活性及叶片 SP, Chla 单位质量含量影响显著,曝气对净化槽中睡莲具有一定的胁迫作用.

(3) 曝气净化槽的出水 DO 浓度与 COD<sub>Cr</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 TP 去除率分别高出非曝气净化槽 2.54 mg/L, 21.0%, 16.6% 和 14.1%, 表明曝气通过提高溶解氧浓度促进了微生物对河水中污染物的净化.

### [参 考 文 献]

- [1] QIU D R, WU Z B, LIU B Y, et al. The restoration of aquatic macrophytes for improving water quality in a hypertrophic shallow lake in Hubei Province, China [J]. *Ecological Engineering*, 2001, 18(2): 147-156.
- [2] JUKKRIT M, SABURO I. Modelling of environmental phytoremediation in eutrophic river-the case of water hyacinth harvest in Tha-chin River [J]. *Thailand Ecological Modelling*, 2001, 142(1-2): 121-134.
- [3] MOSS B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 200: 367-377.
- [4] LI J, ZU Y G. Generation of activated oxygen and change of cell defense enzyme activity in leaves of Korean pine seedling under low temperature [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(2): 148-152.

- [5] 胡绵好, 奥岩松, 朱建坤, 等. pH 和曝气对水生植物去除富营养化水体中氮磷等物质的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 169-173.  
HU M H, AO Y S, ZHU J K, et al. Effect of pH and aeration on removal for nitrogen and phosphorus in eutrophic water by aquatic plant[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(4): 169-173.
- [6] 童昌华, 杨肖娥. 富营养化水体的水生植物净化试验研究[J]. 应用生态学报: 2004, 15(8): 1447-1450.  
TONG C H, YANG X E. Purification of eutrophicated water by aquatic plant[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1447-1450.
- [7] 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.  
State Environmental Protection Administration. Water and Wastewater Monitoring Analysis Method[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [8] HEGED A, ERDEI S, HORVATH G. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedling under cadmium stress [J]. Plant Science, 2001, 60: 1085-1093.
- [9] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem, 1976, 72: 248-254.
- [10] RAO M V, PALIYATH G, OMORD D P. Ultraviolet-B radiation and ozone-induced biochemical changes in the antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiol, 1996, 110: 125-136.
- [11] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154-155.  
ZHANG Z L. The Guidance of Plant Physiology Experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990: 154-155.
- [12] 国家环境保护总局. GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.  
State Environmental Protection Administration. GB3838-2002, Surface water environmental quality standards [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [13] 雒维国, 王世和, 黄娟. 植物光合及蒸腾特性对湿地脱氮效果的影响[J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 30-33.  
LUO W G, WANG S H, HUANG J. Influence of plant photosynthesis and transpiration character on nitrogen removal effect in wetland[J]. China Environment Science, 2006, 26(1): 30-33.
- [14] 高尚, 黄民生, 吴林林, 等. 生物净化槽对黑臭河水净化的中试研究[J]. 中国环境科学, 2008, 28(5): 433-437.  
GAO S, HUANG M S, WU L L, et al. The control test-study of biological purification tank on malodorous river water purification[J]. China Environment Science, 2008, 28(5): 433-437.
- [15] 宋英伟, 聂志丹, 年跃刚, 等. 城市景观水体曝气与生物膜联合净化技术研究[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 58-63.  
SONG Y W, NIE Z D, NIAN Y G, et al. Research of aeration with bio-film technology to treat urban landscape water[J]. Environment Science, 2008, 29(1): 58-63.
- [16] 李宗辉, 唐文浩, 宋志文. 人工湿地处理污水时水生植物形态和生理特性对污水长期浸泡的响应[J]. 环境科学学报, 2007, 27(1): 75-79.  
LI Z H, TANG W H, SONG Z W. Response of the morphological and physiological characteristics of aquatic plants to long-term soaking in the process of constructed wetland wastewater treatment[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(1): 75-79.
- [17] 王超, 张文明, 王沛芳. 黄花水龙对富营养化水体中氮磷去除效果的研究[J]. 环境科学, 2007, 28(5): 975-981.  
WANG C, ZHANG W M, WANG P F. Removal of nitrogen and phosphorus in eutrophic water by *Jussiaea stipulacea Ohwi*[J]. Environment Science, 2007, 28(5): 975-981.
- [18] 王传海, 李宽明. 苦草对水中环境因子影响的日变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 798-800.  
WANG C H, LI K M. Effects of vallisneria asiatica on water environmental factors and its diurnal variation[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 28(5): 975-981.