

几种植物在生长过程中对人工湿地污水处理效果的影响

刘春常¹, 安树青¹, 夏汉平², 任海^{2*}, 简曙光², 张倩媚²

1. 南京大学生命科学院湿地生态研究所, 江苏 南京 210093; 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650

摘要: 不同的植物及植物的不同生长阶段对人工湿地系统污水处理效果都有影响。对几种华南地区常见的湿地植物在其不同生长阶段处理污水的效果进行了研究, 采用了不种植物的沙滤系统作对照。结果表明: (1) 植物生长过程中, 植物高度能反映污水处理效果总体上的变化; (2) 在植物的生长过程中, 各人工湿地系统污水处理能力总体上持续增强, 各水质指标 pH、DO、TN、NH₃-N、NO₃-N、TP 和 COD_{Cr} 等均呈下降趋势, 其中 TP 和 COD_{Cr} 呈逐步下降, pH、DO、TN、NH₃-N、NO₃-N 则呈现锯齿形波动, 但总体上仍是下降过程; (3) 植物系统氮处理能力好于无植物沙滤系统, 而对磷 TP 和 COD_{Cr} 的去除则恰好相反; (4) 不同植物对人工湿地污水的处理效果影响不明显。研究结果对探讨人工湿地污水处理规律和植物在人工湿地中的作用提供了新的科学依据, 并为指导人工湿地工程的运行提供了参考。

关键词: 盆栽实验; 人工湿地微系统; 净化效果

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2007) 03-0860-06

人工湿地是一种新兴的环保技术, 它是由植物、微生物、基质及藻类、土壤动物和真菌等构成的复合生态工程^[1-2]。植物的作用形式多种多样, 主要有加固植物床、改变水力传导能力、创造生物共生条件、杀菌、向基质中释放氧气及景观美学作用等方面^[3]。目前, 人工湿地植物的研究很多, 涵盖了生态功能、解剖结构、生理及分子生物学和基因工程等多个领域^[4, 5]。在人工湿地植物污染物去除能力的研究中, 相关工作集中在稳定运行的人工湿地系统中。实际工程运行中, 人工湿地污水处理系

统从建立到稳定运行期间存在一个试运行期, 该时期系统的处理效果与植物的生长情况直接相关, 但目前尚没有相关的研究报道。本文利用盆栽实验模拟人工湿地系统, 探讨植物生长过程中污水处理效果的变化规律, 同时通过不同实验处理组的对照, 以进一步探讨植物在人工湿地中的作用。

1 材料及方法

1.1 实验系统构建

实验为微系统盆栽静态实验, 系统由 50 cm 长×35 cm 宽×40 cm 高的塑料箱改造而成 (图 1)。微

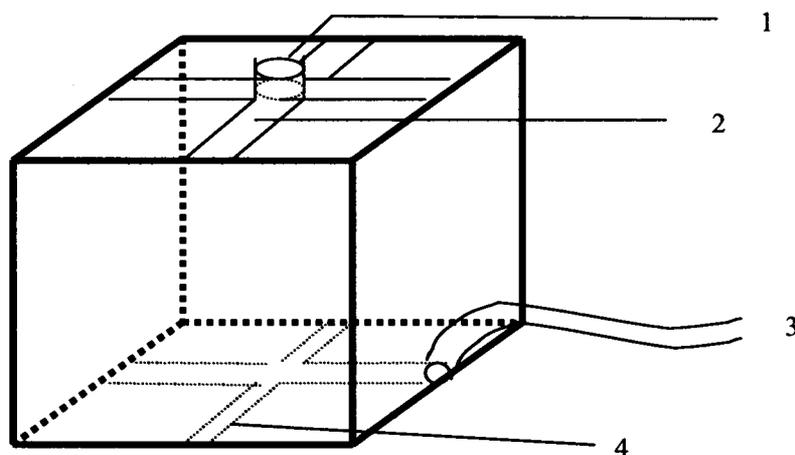


图 1 盆栽微系统简图

Fig. 1 The structure of the microcosm

1 进水口 2 配水管 3 集水管 4 出水管

基金项目: 科技部镇江 863 专项 (2003AA06011000-04); 广东省科技攻关项目 (2003C32201); 广州市攻关项目 (2003J1-C0341)

作者简介: 刘春常 (1980-), 男, 博士研究生, 研究方向为湿地生态工程。E-mail: liucc3505@scib.ac.cn

*通讯联系人

收稿日期: 2006-12-15

系统表面安装有配水管 2, 有进水口 1 与外界相连; 底部安装有集水管 3, 有出水管 4 与外界相连。配水管下半部分和集水管周围铺有 3 cm 厚的粒径为 5~10 mm 的碎石, 其余部分由细沙填充, 填充高度为 35 cm。水管底部均有孔洞(图中未标出), 水流可自由进出。植物种植于该系统中。污水通过进水口进入系统, 通过配水管均匀分配于系统内, 经处理后进入集水管排出系统。系统处理空间为 60 L, 孔隙度为 0.4, 每天处理污水 7 L, 水力停留时间为 3.5 d。

1.2 实验设置与污水采样方法

实验分风车草(*Cyperus alternifolius*)、白姜花(*Hedychium coronarium*)、加拿大蓬(*Conyza canadensis*)、薏苡(*Coix lacryma*)、叠穗莎草(*Cyperus imbricatus*)、水芋(*Calla palustris*) 6 种植物处理和一个空白对照, 每个处理与对照均设置 4 个重复。2004 年 4 月 5 日将植物全部种下, 2004 年 8

月 26 日实验结束。这期间, 分别在 4 月 29 日、5 月 24 日、6 月 9 日、6 月 29 日、8 月 9 日及 8 月 29 日进行植物高度和分蘖数调查及进出水水质取样调查(植物调查和污水取样均在早上 7:00—9:00 点之间进行, 6 月 9 日未作高度和分蘖数调查)。植物种植时, 各组处理的 4 个重复其植株高度和分蘖数相同。

1.3 测定与分析方法

主要水质测试指标包括 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TP(总磷)、TN(总氮)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、T(温度)、DO(溶解氧)和 pH 等 10 项。其中, COD_{Cr} 的测定方法为快速密闭催化消解法, T 与 DO 由溶解氧仪(型号: TOA DO-11P)测得, 其它的指标均采用国标方法^[6]。

2 结果与分析

2.1 植物生长变化过程

图 2 展示了植物生长过程高度和分蘖数的变化。

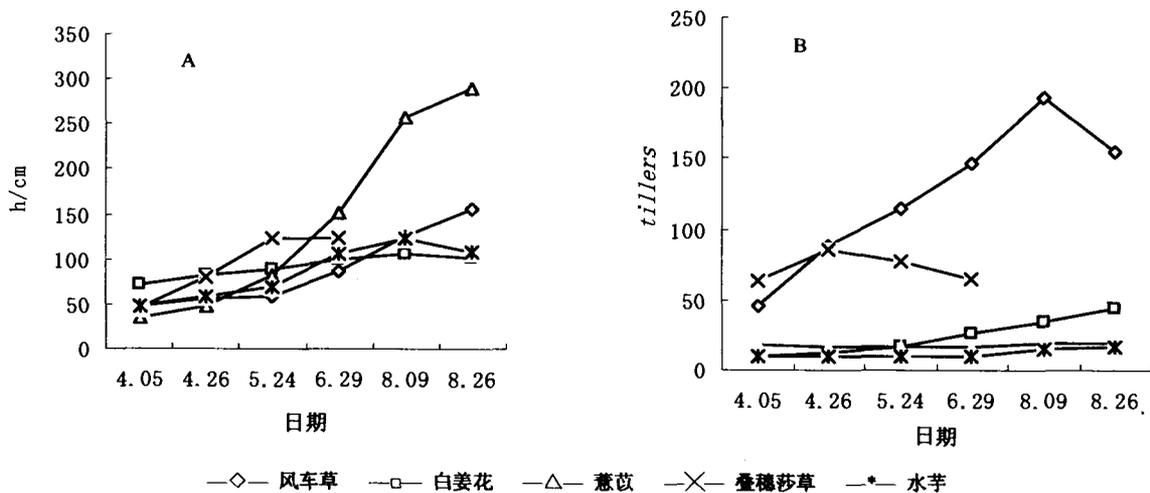


图 2 微系统中植物的生长高度和分蘖数变化

Fig. 2 The change of height and tillers of the plants

植物高度变化呈现 3 个阶段。首先, 植物种植后至 5、6 月间的 2 个月左右时间里, 植物生长缓慢; 随后, 在 6—8 月间, 植物进入生长最旺盛的阶段; 之后, 植物生长越来越缓慢, 以至死亡。5 种植物中, 叠穗莎草生长过程较提前, 也较早结束了生命。植株分蘖数除风车草呈明显的上升变化趋势外, 其它几种植物变化不明显。

2.2 污水净化效果的变化规律

图 3 (下页) 各图展示的是植物生长过程中水质的变化, 数值为所有植物处理微系统的平均值, 其中 COD_{Cr} 和 BOD_5 在 2004 年 4 月 29 日的取样数据因试验操作失误无效(图 3 G)。结果表明, 植物生长过程中, 温度变化较小, 随着气温的上升, 试验后半期稍高于前半期(图 3 A)。DO 的变化呈现

阶段性(图 3 B), 首先在 4-5 月间有一个较大的上升过程, 随后维持在 $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右的水平, 之后又急剧下降到低于初始的水平。其它各指标均呈现下降趋势, 其中 TP、 COD_{Cr} 和 BOD_5 均呈现逐步下降的过程(图 3 G、H), pH、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 则呈现锯齿状波动(图 3 C、D、F), 并且波形完全一致。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 质量浓度在最初阶段急剧下降后, 一直保持较低的水平, 而在试验结束阶段有小幅上升(图 3 E)。

2.3 植物微系统与无植物沙滤系统处理效果比较

图 4 是进水水质以及进水经 5 个植物处理组和无植物沙滤系统处理后的水质比较, 图中各指标在数值上进行了降序排列, 其中图 F、G 中分别以 TN 和 COD_{Cr} 为排序标准。结果表明, 污水经过植物系

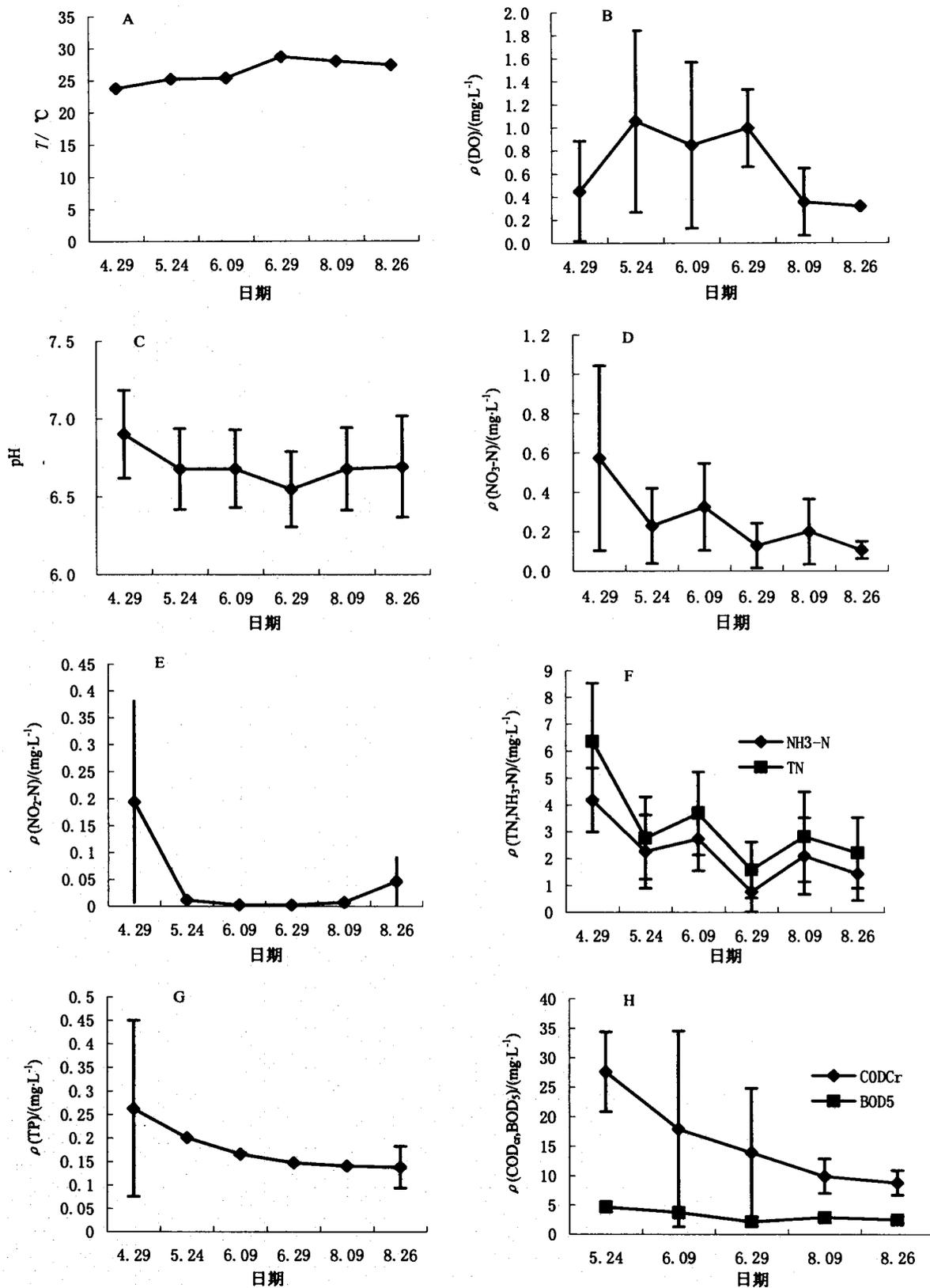


图3 植物生长过程中污水处理效果变化

Fig. 3 The effect of the treatment in the process of plant growth

统和无植物沙滤系统处理后, T、DO 和 pH 都有所下降(图 4 A、B、C), 其中, DO 和 pH 在植物系

统中下降的幅度要比在无植物沙滤系统中要大。在污染物去除方面, 无植物沙滤系统出水中 TP、TN

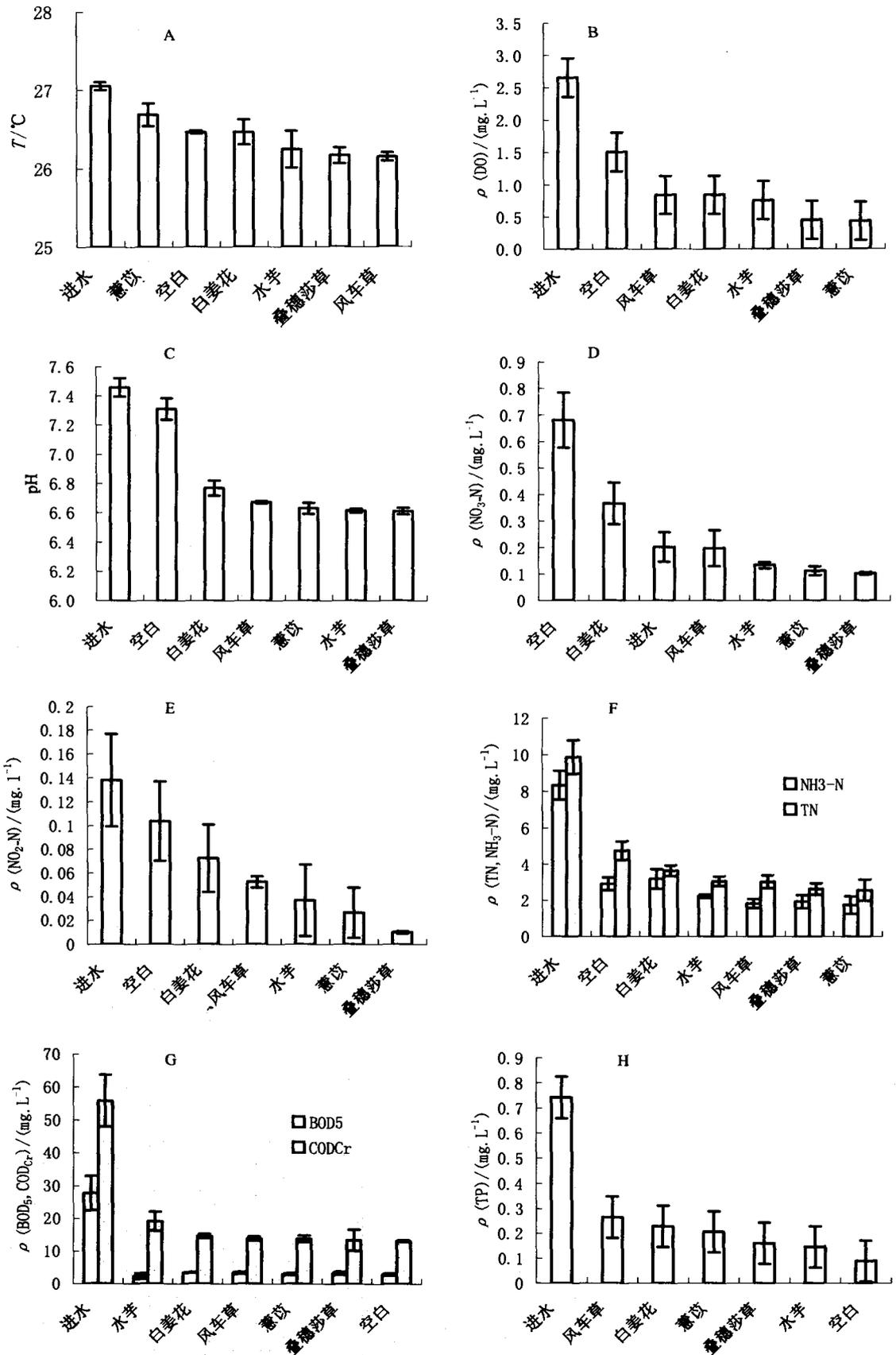


图 4 各污水指标在不同处理及进水中的变化

Fig. 4 The change of the treatment effect between the output of the treatment groups and the input

与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 均高于其它有植物微系统, $\text{NH}_3\text{-N}$ 略低于白姜花的出水。而对于 TP (图 4 D) 和 COD_{Cr} (图 4 G) 来说, 则无植物沙滤系统的出水质量浓度均要低于有植物微系统。

2.4 不同植物对微系统水质净化的影响

5 种植物对污水中 T、DO、pH 的影响差别较小。对污染物去除效果而言, 对 TP 的去除能力由大到小的次序为薏苡, 叠穗莎草, 水芋, 风车草, 白姜花, 对 COD_{Cr} 的去除能力由大到小的次序为风车草叠穗莎草, 水芋, 薏苡, 白姜花。对 TN 的去除能力由大到小的次序为薏苡, 叠穗莎草, 风车草, 水芋, 白姜花, 但从总体趋势上看, 各植物微系统出水中 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度相差不大, 但 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 质量浓度在不同的植物的微系统间变化较大。

3 讨论和结论

3.1 植物生长过程与污染物去除

植物的生长伴随着一系列的生理生态过程, 包括植株增高、分蘖数增多、根系伸长、光合作用、根际活动增强、生物量积累等。为了植物观测和工程操作方便, 本研究选取了植株高度和分蘖数作为研究对象, 结果表明对多数植物来说, 植株高度更能反映植物生长, 特别是其中植株高度与 DO 质量浓度之间具有一定的耦合。这种耦合的机制可能是: 在植物生长前期, 植物根系迅速扩展, 氧释放能力同时增强, 因此水中溶解氧急剧上升; 到了生长中期, 植物保持在旺盛生长期但氧释放能力已趋于稳定, 水中溶解氧达最高并趋于稳定; 到了植物生长后期, 部分根系生物量腐烂分解, 耗费部分氧气, 因此其溶解氧水平急剧下降。尽管如此, 我们并不否认分蘖数观测的价值, 靖元孝等^[7]对风车草分蘖数的研究就发现其分蘖数是风车草生长性的一个重要指标。

对照图 2 与图 3, 植株移栽后经过了两个月左右的缓慢生长期, 在这段时间里, 人工湿地系统的污水净化能力迅速提高。这说明, 植物在移栽后的适应阶段完成了人工湿地内部环境的营造。至于在这过程中, 人工湿地系统中不同过程, 如根系的生长、生物膜的形成等是如何进行的, 还需进一步的研究。

3.2 植物在污染物去除中的作用

植物在人工湿地的众多作用中^[3], 根系营造良好的微生物生长环境和根系向基质中释放氧气无疑是问题的关键所在。由于根际周围大量微生物的活动, 大量污染物包括氮和 COD_{Cr} 被去除, 同时也消耗大量的溶解氧^[8]。由于无植物沙滤系统的微生物含量明显少于植物系统^[9], 系统消耗的溶解氧也

少。尽管根系向基质放氧, 但仍难以补充污染物去除的需氧量, 因此导致了无植物沙滤系统出水溶解氧含量高于有植物微系统。对于污水中的磷来说, 其主要通过化学吸附沉积去除^[10,11], 且在其沉积过程中, 植物释放的磷酸酶能抑制这一过程^[12], 因此植物微系统 P 去除能力均低于无植物系统。

就植物而言, 不同的植物在人工湿地中的生理生态特征是不尽相同的, 比如植物根系氧释放能力在植物间就存在着较大的差别^[13]。人工湿地中, 氮的去除大部分通过硝化反硝化反应^[14], 少部分通过植物吸收^[5], 植物根系周围存在近根系的好氧区与远根系的厌氧区的交替环境^[14]则有利于硝化反硝化反应去除氮。由于植物根系放氧能力不同, 可能导致不同植物系统间硝化反应的较大差异 (图 4D、E)。由于植物氧释放量有限, 虽然不同植物系统间的硝化反硝化反应存在较大差异, 其相对较大的总氮含量, 其总氮去除率相差并不很大。

参考文献:

- [1] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 17(4): 51-59.
XIA Hanping Mechanisms and efficiencies on wastewater treatment with constructed wetlands: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(4): 51-59.
- [2] 梁继东, 周启星, 孙铁珩. 人工湿地污水处理系统研究及性能改进分析[J]. 生态学杂志, 2003, 22(2): 49-55.
LIANG Jidong, ZHOU Qixing, SUN Tieheng. A research review and technical improvement analysis of constructed wetland systems for wastewater treatment[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(2): 49-55.
- [3] BRIX H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? [J]. Water Science and Technology, 1997, 35 (5): 11-17.
- [4] SCHWITZGUÉBEL J P. Hype or hope: the potential of phytoremediation as an emerging green technology[J]. Remediation Journal, 2001, 11 (4): 63-78.
- [5] STOTTMEISTER U, WIEßNER A, KUSCHK P. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment [J]. Biotechnology Advances, 2003, 22 (1-2): 93-117.
- [6] 王心芳. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境出版社, 2002: 216-219.
WANG Xinfang. Methods of the water and wastewater inspection and analysis[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Press, 2002: 216-219.
- [7] 靖元孝, 陈兆平, 杨丹青. 风车草对生活污水的净化效果及其在人工湿地的应用[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(6): 614-617.
JING Yuanxiao, CHEN Zhaoping, YANG Danjing. Purifying efficiency of *Cyperus alternifolius* to domestic sewage and its application in constructed wetland[J]. Chinese Journal of Application and Environment Biology, 2002, 8(6): 614-617.
- [8] HELAL, SAUERBECK D. Carbon turnover in the rhizosphere[J]. Z Pflanzenernähr Bodenkd, 1989, 152: 211-216.

- [9] 梁威, 吴振斌, 詹发萃, 等. 人工湿地植物根区微生物与净化效果的季节变化[J]. 湖泊科学, 2004, 16(4): 312-317.
LIANG Wei, WU Zhenbin, ZHAN Facui, et al. Seasonal Variation of Macrophytes Root-zone Microorganisms and Purification Effect in the Constructed Wetland System[J]. J Lake Science, 2004, 16 (4): 312-317.
- [10] 张建, 魏杰. 氮磷在废水表面滤过系统中的去除机制[J]. 中国环境科学, 2002, 22(5): 438-441.
ZHANG Jian, WEI Jie. Nitrogen and phosphorus removal mechanism in subsurface wastewater infiltration system[J]. Chinese J Environmental Science, 2002, 22 (5): 438-441.
- [11] 卢少勇, 金相灿, 余刚. 人工湿地的磷去除机理[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 391-396.
LU Shaoyong, JIN Xiangcan, YU Gang. Phosphorus removal mechanism of constructed wetland[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(2): 391-396.
- [12] 周易勇, 付永清. 水体磷酸酶: 来源、特征及其生态学意义[J]. 湖泊科学, 1999, 11(3): 274-282.
ZHOU Yiyong, FU Yongqing. Phosphatases in natural water: origin, characteristics and ecological significance[J]. J Lake Science, 1999, 11(3): 274-282.
- [13] CHRISTINE L, OLIVER H, MICHAEL H. Environmental factors regulating the radial oxygen loss from roots of *Myriophyllum spicatum* and *Potamogeton crispus*[J]. Aquatic Botany, 2006, 84: 333-340.
- [14] REDDY K R, PATRICK J W, LINDAU C W. Nitrification denitrification at the plant root sediment interface in wetlands[J]. J. Ecol. Oceanogr, 1989, 34: 1004-1013.

Effects of several plants species in their growth on the treatment of constructed wetlands

LIU Chunchang¹, AN Shuqing¹, XIA Hanping², REN Hai², JIAN Shuguang², ZHANG Qianmei²

1. Institute of Wetland Ecology, School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract: Constructed wetland is efficient in wastewater treatment which is consisted of plants, microorganisms, substrates and so on. Plants are important in constructed wetlands and play crucial functions in the system. The macrophytes stabilize the surface of the beds, provide good conditions for physical filtration, prevent vertical flow systems from clogging, insulate the surface against frost during winter, and provide a huge surface area for attached microbial growth. Their roots give off oxygen to substrate to increase aerobic degradation of organic matter and nitrification. Plants have effect on the constructed wetland treatment according to different species and different growth phrases. In this study, a batter of constructed wetland microcosms were built to test the purification efficiency along the process of plant growth of different plant species. The comparison of the treatment between the microcosms with plants and without plants was also considered. Based on the experiments, the following results were obtained. (1) The height of the plants can reflect the purification efficiency when the plants grew. (2) The treatment capability of the constructed wetland microcosms had been rising when the plants grew. And the water quality items, including pH, TN, NH₃-N, NO₃-N, TP and COD_{Cr} all reduced as a whole as the plants grew. Among them, TP and COD_{Cr} decreased gradually, but pH, TN, NH₃-N and NO₃-N changed in shape of serration in the same tendency. (3) All the groups could reduce the pollutions greatly, but the nitrogen removal was more efficient the microcosms with plants; while as to TP and COD_{Cr}, it was opposite. (4) Plants had little effect on wastes treatment. In this study, we provide new knowledge about the constructed wetland and the plants grew there, which will be of great help in the operation of such wastewater treatment.

Key words: pilot experiment; constructed wetland microcosms; purification efficiency