

城市地区重建湿地的生态过程研究

刘萍萍^{1,2}, 尹澄清^{2*}, 孙淑琴³

(1. 西安交通大学环境科学与工程系, 西安 710049; 2. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 3. 天津泰达自来水公司, 天津 300457)

摘要:研究了湿地重建过程中植物、土壤和水质的动态变化特征. 湿地重建 2 a 后植物种类增加了 11 种, 芦苇、菖蒲和香蒲 3 种植物的高度、生物量在第 2 个生长季明显高于第 1 个生长季节, 植物生物量分别增加到原来的 13、1.5 和 1.4 倍. 湿地种植区土壤有机质总体上是降低的, 土壤全氮含量从 1 500 mg/kg 降低到 850 mg/kg ($p < 0.01$), 土壤全磷在试验期间略有增加. 对重建湿地 12 种水质指标分析表明, 夏季湿地出口源水溶解氧高于进口源水, 出口源水总氮、叶绿素 a、藻类计数 3 种水质指标均低于进口源水, 说明重建湿地水质在夏季出口源水优于进口源水, 水质得到改善. 研究表明, 湿地植物群落重建成功, 生物多样性增加, 重建湿地在改善和保持源水水质方面发挥了一定的作用.

关键词:湿地重建; 生态过程; 营养元素; 水生植物; 水质

中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)01-0059-05

Study on the Ecological Process in an Urban Wetland Creation

LIU Ping-ping^{1,2}, YIN Cheng-qing², SUN Shun-qin³

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Tianjin TEDA Waterworks Co., Tianjin 300457, China)

Abstract: The dynamics of physical, chemical and biological processes was researched in an urban created wetland in Tianjin. The result showed that all introduced macrophytes survived and the aboveground biomass increased 13 fold for *Phragmites australis*, 1.5 fold for *Acorus calamus* and 1.4 fold for *Typha orientalis*, respectively. And 11 other macrophytes were occurred in the basin. For the nutriment in the sediment, the organic matter decreased, total Kjeldahl nitrogen significantly decreased from 1 500 mg/kg to 720 mg/kg ($p < 0.01$), and total phosphorus slightly increased in created wetland. 12 parameters of the water quality were determined. The water quality was improved in summer season, since dissolved oxygen increased, and other parameters, such as total nitrogen, chlorophyll a, and the number of algae decreased from inflow to outflow. The study indicated that the biodiversity naturally increased in created wetland. The created wetland played a role for the stand and improvement of water quality.

Key words: wetland creation; ecological process; nutrient; macrophyte; water quality

生态系统恢复和重建的目的是建立合理的生态组分、结构、格局、一致性和功能^[1]. 湿地恢复和重建研究的重点是每一个湿地组分——水、土壤、植物以及它们之间的关系^[2]. 对于城市地区湿地重建的目的则更多地强调湿地生态系统功能的重建^[3,4]. 湿地生态系统的结构和生态过程决定着湿地功能的发挥, 所以需要研究湿地重建的生态过程, 以便将相关知识更好地运用到自然湿地保护和利用的实践中^[5]. 湿地生态系统生态过程主要研究湿地的生物过程、化学过程和物理过程 3 个方面^[6]. 植物的恢复和重建是生态系统恢复和重建的主要途径^[7,8]. 特定的水文水质状况对恢复和重建湿地生物多样性和功能是非常重要的. 它不仅直接影响湿地生态环境的理化性质及营养物质的循环, 而且也是最终选择湿地生物群落的主要因素^[9-12]. 无论是自然湿地还是人工构建湿地, 营养物质的累积和有效循环对湿地

生态系统的发展和维持都是重要的^[13-19]. 本文研究了天津经济技术开发区(简称泰达)湿地重建过程中植物、土壤和水质的动态变化特征, 探讨了湿地重建过程中物理、化学和生物过程的一般性机制, 以期为湿地恢复和重建的实践提供科学的指导作用.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区

重建湿地位于泰达西北部, 作为泰达自来水厂的水源调节池(图 1), 湿地前期工程始建于 2000-11, 完成于 2001-05. 2002-03 在植物种植区修建了木质消浪墙、铺设了聚乙烯防渗膜, 并用北塘不列水库的

收稿日期: 2005-12-08; 修订日期: 2006-04-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601011-05); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-442)

作者简介: 刘萍萍(1974~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为湿地生态学, E-mail: ppingliu@126.com

* 通讯联系人, E-mail: cqyin@263.net

底泥更换了原盐田土壤,人工种植 8 种水生植物^[20].该区属于温带季风型大陆性气候,四季明显,年平均气温 12℃,年降水量为 579 mm,年蒸发量 1 931 mm,为降水量的 3 倍.湿地重建前土壤属于滨海盐渍土,质地粘重,通气透水不良,含盐量极高,全盐量均在 30 g/kg 以上.

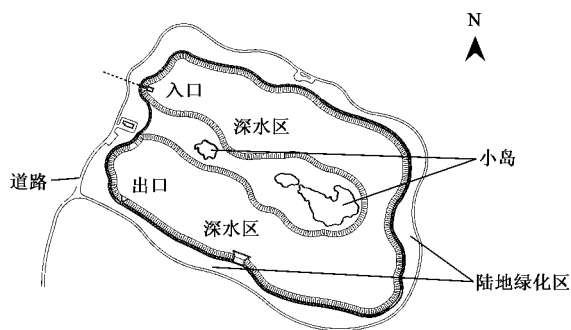


图 1 重建湿地平面示意

Fig.1 View of created wetland in TEDA

1.2 研究方法

2002-06、2002-09、2003-04、2003-07 对重建湿地植物生长状况进行调查,样方 0.5 m × 0.5 m,鉴定样方内群落组成和种类数量,测定样方内每种植物的盖度和高度.2002 年植物生物量采用非破坏性方法(non-destructive measurements)测定^[13].2003 年生物量测定时,对样方内所有植物齐地面收割袋装,植物样品用无离子水洗净、擦干、称重.根据 2003 年植物样方调查的高度(x)与生物量(y)的关系推算 2002 年芦苇、菖蒲和香蒲 3 种植物的生物量,其线性方程分别是:

$$y = 8.3294x - 328.27, \quad n = 9,$$

$$R^2 = 0.8096 \quad (p < 0.01)$$

$$y = 21.644x - 500.34, \quad n = 7,$$

$$R^2 = 0.7804 \quad (p < 0.01)$$

$$y = 10.785x - 318.27, \quad n = 8,$$

$$R^2 = 0.9039 \quad (p < 0.01)$$

2002-04、2002-06、2002-09、2002-11、2003-04、2003-07 在重建湿地不同植物种植区采集土壤样品.考虑湿地重建时间不长,2002-04 和 2002-06 的土壤样品深度为 10 cm,没有分层.2002-09 采集 0 ~ 15 cm 土壤样品,分为 0 ~ 5 cm 和 5 ~ 15 cm 2 层.2002-11、2003-04、2003-07 采集 0 ~ 35 cm 土壤样品,分为 0 ~ 5 cm、5 ~ 15 cm 和 15 ~ 35 cm 3 层.所有样品风干,磨碎过 0.15 mm 筛,分析土壤有机质、全氮和全磷.土壤有机质测定用重铬酸钾稀释热法;土壤全氮采用浓

H_2SO_4 - K_2SO_4 - $CuSO_4$ 混合高温消解,然后用 KDY-9820 凯氏定氮仪测定;全磷用 $HClO_4$ - H_2SO_4 法测定^[21].

2002-10 ~ 2003-11,每个月在重建湿地的进口和出口采集水样进行 pH、浊度、溶解氧、总碱度、总硬度、氯离子、高锰酸盐指数、总氮、总磷、细菌总数、叶绿素 a 和藻类计数等水质指标分析,所有指标分析均采用标准方法测定^[22].

2 结果与讨论

2.1 重建湿地的生物过程研究

2003 年,重建湿地植物种类增加了 11 种,分属于 8 个科,10 个属,包括穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)、角果藻(*Zannichellia palustris*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)、扁秆蔗草(*Scirpus planiculmis*)、双穗雀稗(*Paspalum paspaloides*)、长芒稗(*Echinochloa caudata*)、光头稗(*Echinochloa colonum*)、水蒿(*Artemisia selengensis*)、鳢肠(*Eclipta prostrata*)等植物.穗花狐尾藻在重建湿地的深水区自然繁衍.这些新出现的植物种类主要是植物种子通过流动水体进入重建湿地后生长发育的.

重建湿地种植的 8 种水生植物的成活率均达到 95% 以上,水生植物生长良好,湿地芦苇、菖蒲和香蒲 3 种主要水生植物的高度和生物量具有明显的季节动态变化特征(图 2,图 3).

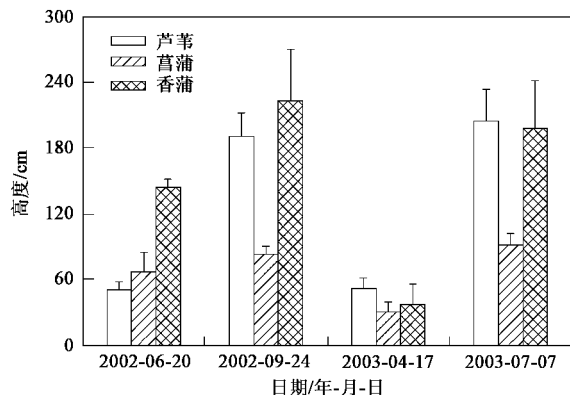


图 2 重建湿地主要植物高度季节动态变化

Fig.2 Seasonal changes of main plant height in created wetland

植物高度变化与植物的生长发育规律一致.植物群落在 4 月高度最小,6 月、7 月植物迅速生长,植株高度急剧增加,随后植株生长变得缓慢,在 9 月下旬植株进入枯萎期,植物高度增加(香蒲)或略有

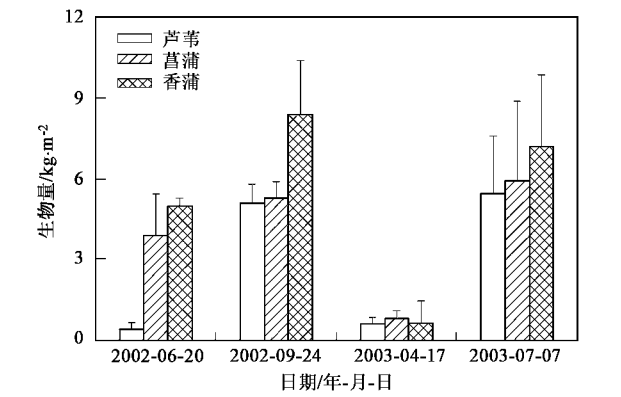


图3 重建湿地主要植物生物量季节动态变化
Fig.3 Seasonal changes of main plant biomass in created wetland

减少(芦葭和菖蒲). 2003-04 ~ 2003-07, 芦葭、菖蒲和香蒲 3 种植物高度增加的幅度分别为 292%、196% 和 424%. 2 个生长季节比较, 3 种植物的高度在第 2 个生长季(2003-07)明显高于第 1 个生长季节(2002-06), 芦葭高度增加幅度最大, 菖蒲和香蒲变化较小, 分别为 299%、36% 和 37%. 植物的生物量与植物高度的季节和年际变化规律一致. 2002 年和 2003 年 2 个生长季节比较, 植物生物量分别增加到原来的 13、1.5 和 1.4 倍. 芦葭植物的地上生物量在 2 个季节差异显著($p < 0.01$).

2.2 重建湿地土壤营养元素动态变化

试验期间, 重建湿地种植区土壤有机质、全氮和全磷含量随湿地重建时间的增加表现出一定的动态分布规律(图 4).

2003 年土壤有机质平均含量高于 2002 年, 分别为 1.13% 和 1.05%. 土壤有机质含量的季节变化总体上是下降的. 2002-04 ~ 2002-11 有机质从 1.09% 降低到 1.00%. 2003-04 土壤有机质含量达到 1.14%, 2002-07 下降到 1.12%. 试验期间, 土壤全氮含量从 1 487 mg/kg 下降到 720 mg/kg. 2002 年, 土壤全氮含量从 1 500 mg/kg 降低到 850 mg/kg, 并且, 4 月与 9 月、11 月土壤全氮含量差异显著($p < 0.05$). 2003 年土壤全氮含量从 850 mg/kg 降低到 720 mg/kg. 土壤全氮含量变化表明, 种植区土壤在湿地重建初期存在氮释放的过程. 土壤全磷含量在试验期间略有增加. 2002-04 ~ 2002-11 土壤全磷含量从 620 mg/kg 增加至 690 mg/kg. 2003-04 土壤全磷含量降低到 670 mg/kg, 2003-07 土壤全磷降低到试验初期的水平(618 mg/kg).

2.3 湿地重建过程中的水质特征

重建人工湿地的主要目的之一是为自来水厂提

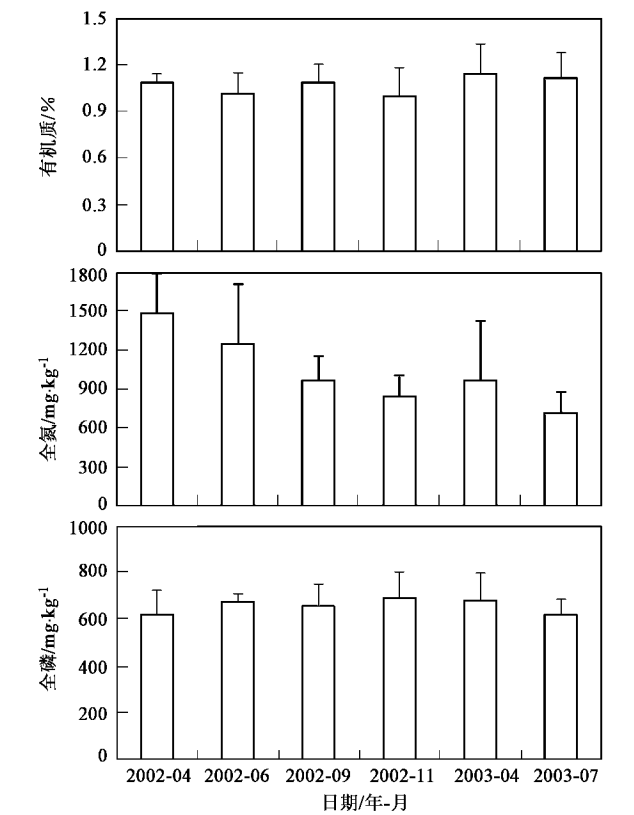


图4 重建湿地种植区土壤营养盐变化
Fig.4 Nutrient changes in sediment in created wetlands in 2002 and 2003

供优质源水, 对重建湿地进口与出口源水在 2002-10 ~ 2003-11 期间水质指标进行比较, 以分析重建湿地在源水滞留期间改善和保持源水水质状况的作用(图 5).

由图 5 可知, 源水 pH 在试验期间介于 7.6 和 8.8 之间, 并且随季节变化略有增加, 夏季较高, 冬季较低. 2002-12 ~ 2003-04, 出口和进口源水 pH 基本一致, 2003-05 ~ 2003-11 期间出口源水高于进口源水. 浊度指标在 2002-12 ~ 2003-06 期间变化不大, 略有增加, 2003-07 ~ 2003-10 浊度急剧增加, 2003-11 有所下降, 说明浊度受到当地雨季的影响. 溶解氧含量在 6.5 ~ 15.5 mg/L 之间. 2002-10 ~ 2002-12 和 2003-01 ~ 2003-03 期间, 溶解氧增加, 达到试验期间的最大值(15.5 mg/L). 此后溶解氧逐渐减少, 2003-07 降到最低值(6.5 mg/L). 除了 2003-01 和 2003-02, 重建湿地出口源水溶解氧均高于进口源水, 表明重建湿地对水质有所改善. 源水中的 Cl^- 浓度介于 30 ~ 90 mg/L 之间, 出口源水的 Cl^- 浓度几乎都略高于进口源水. 进口源水和出口源水的总碱度和总硬度指标在试验期间呈现相同的变化规律. 2002-10 ~ 2002-12

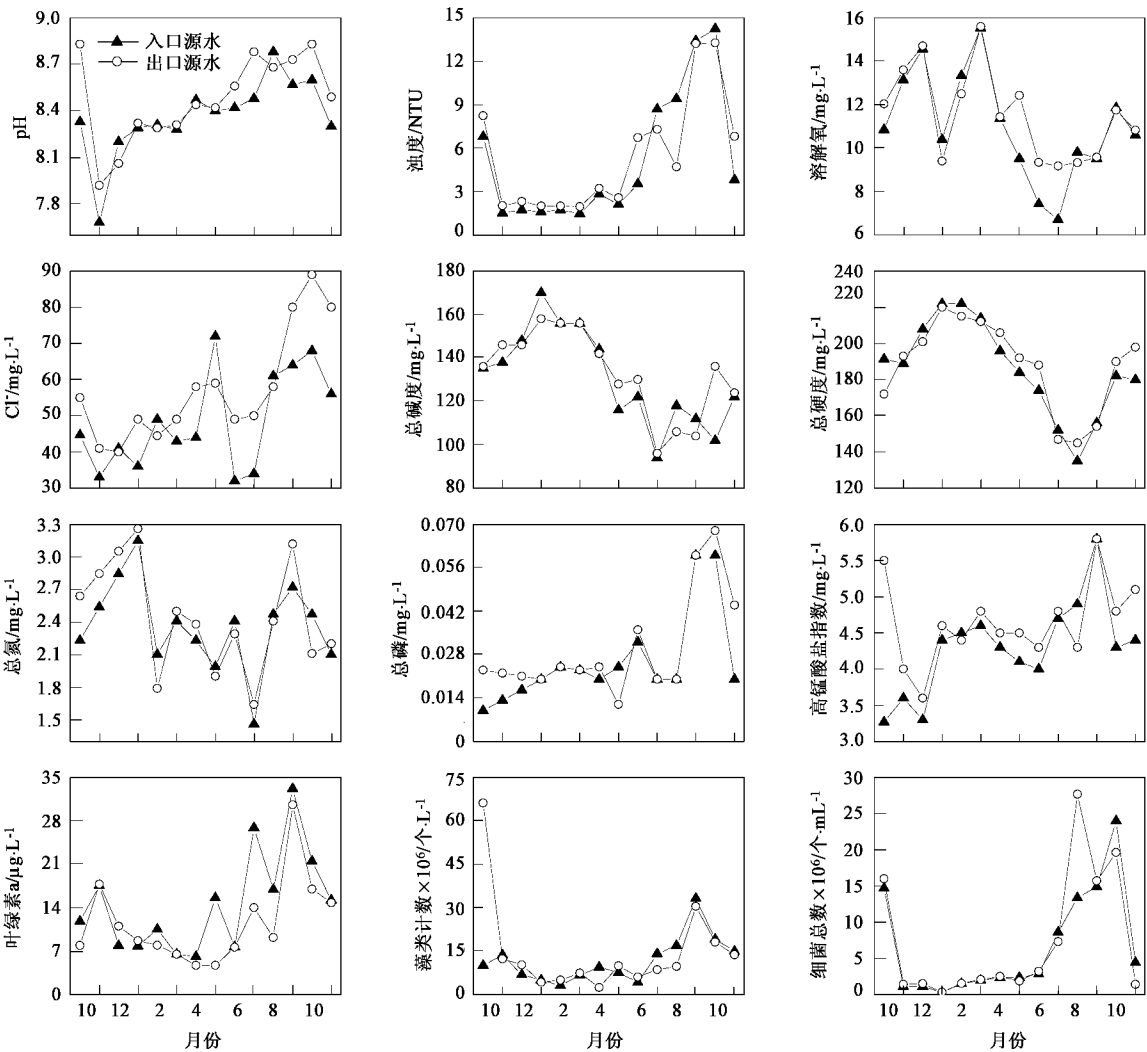


图 5 2002-10 ~ 2003-11 重建湿地进口与出口源水水质指标比较

Fig.5 Parameter of water quality in inflow and outflow in created wetland from Oct.2002 to Nov.2003

总碱度和总硬度逐渐增加,2003-01 ~ 2003-08 急剧下降,随后,2 个指标逐渐增加.进口源水的总硬度略低于出口源水.

源水的总氮浓度在 2002-10 ~ 2003-01 从 2.2 mg/L 增加到 3.2 mg/L,出口源水的总氮浓度均高于进口源水.2003-02 ~ 2003-11 进口与出口源水总氮浓度在 2 ~ 2.7 mg/L 之间,出口源水总氮浓度在 2003-05 ~ 2003-08 低于进口源水.重建湿地进口和出口源水的总磷浓度差异不大.进口源水的高锰酸盐指数在试验期间基本上都小于出口源水.叶绿素 a 和藻类计数在试验期间表现为夏季(6 ~ 8 月)高于其他季节,这与藻类的生长发育规律相一致,夏季出口源水低于进口源水.细菌总数在 2002-12 ~ 2003-06 均小于 250×10^4 个/L,而在 2003-07 ~ 2003-10 大于 750×10^4 个/L,远高于其他月份.在出口和进口源水中

差异不大.综合各种指标入口和出口的变化,夏季湿地出口源水溶解氧高于进口源水,出口源水总氮、叶绿素 a、藻类计数 3 种水质指标均低于进口源水,而这一时期也正是湿地生态系统中生物活动最旺盛的时期,说明重建湿地在改善和保持源水水质方面发挥了一定的作用.

3 结论

(1)对重建湿地 2 a 时间内水质、土壤营养元素和植物生长状况的研究表明,重建湿地种植的 8 种水生植物的成活率均达到 95% 以上,水生植物生长良好.湿地重建第 2 a 植物种类增加了 11 种.芦苇、菖蒲和香蒲 3 种植物的高度、生物量在第 2 个生长季明显高于第 1 个生长季节,植物生物量分别增加到原来的 13、1.5 和 1.4 倍.

(2)湿地种植区土壤有机质随季节的变化总体上是降低的,但是差异不显著.土壤全氮含量在重建的2 a时间内从1 500 mg/kg降低到 850 mg/kg,差异显著.土壤全磷在试验期间略有增加.

(3)重建湿地水体入口和出口的水质变化,夏季出口源水优于进口源水,水质得到改善.对重建湿地生态系统物理的、化学的和生物的生态过程表明,湿地在重建初期植物群落重建成功,生物多样性自然增加,重建湿地在改善和保持源水水质方面发挥了一定的作用.

参考文献:

[1] Hobbs R J, Norton D A. Towards a concept framework for restoration ecology[J]. Restoration Ecology, 1996, 4(2): 93 ~ 110.

[2] Young P. The “ new science ” [J]. Environment Science and Technology, 1996, 30(7): 292A ~ 296A.

[3] Ehrenfeld J G. Evaluating wetlands within an urban context[J]. Ecological Engineering, 2000, 15: 253 ~ 265.

[4] Mitsch W J, Wu X, Naim R W, et al. Creating and restoration wetlands: A whole-ecosystem experiment in self-design [J]. Bioscience, 1998, 48: 1019 ~ 1030.

[5] Zedler J B. Progress in wetland restoration ecology[J]. Tree, 2000, 15(10): 402 ~ 407.

[6] 何池全, 赵魁义, 余国营, 等. 湿地生态过程研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(2): 165 ~ 171.

[7] 邹厚远, 张信. 关于黄土高原植被恢复的生态学依据探讨[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 1 ~ 4.

[8] 阮伏水, 周伏建. 花岗岩侵蚀坡地重建植被的几个关键问题[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 19 ~ 25.

[9] Guardo M, Frink L, Fontaine T D. Large-scale constructed wetlands for nutrient removal from stormwater runoff: An everglades restoration project[J]. Environmental Management, 1995, 19(6): 879 ~ 889.

[10] Costa-Pierce B A. Preliminary investigation of an integrated

aquaculture wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles County, California [J]. Ecological Engineering, 1998, 10: 341 ~ 354.

[11] Tilley D R, Brown M T. Wetland networks for stormwater management in subtropical urban watersheds [J]. Ecological Engineering, 1998, 10: 131 ~ 158.

[12] 崔保山, 刘兴土. 湿地生态系统设计的一些基本问题探讨[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 145 ~ 150.

[13] Langis R, Zalejko M, Zedler J B. Nitrogen assessment in a constructed and a natural salt marsh of San Diego Bay[J]. Ecol. Appl., 1991, 1: 40 ~ 51.

[14] Craft C B, Reader J, Succo J N, et al. Twenty-five years of ecosystem development of constructed *Spartina alterniflora* (Loisel) marshes[J]. Ecological Application, 1999, 9: 1405 ~ 1419.

[15] Cole C A. Ecological theory and its role in the rehabilitation of wetlands [A]. In: Streever W R. (eds). An International Perspective on Wetland Rehabilitation [C]. Kluwer Academic Publishers, 1999. 232 ~ 243.

[16] Craft C B, Broome S W, Seneca E D. Nitrogen, phosphorus and organic carbon pools in natural and transplanted marsh soil[J]. Estuaries, 1988, 11: 272 ~ 280.

[17] Valiela I, Teal J M. The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem [J]. Nature, 1979, 280: 652 ~ 656.

[18] Howarth R W. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystem[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1988, 19: 89 ~ 110.

[19] Malakoff D. Restored wetlands flunk real-world test[J]. Science, 1998, 280: 371 ~ 372.

[20] 刘萍萍, 尹澄清, 尹红, 等. 滨海地区湿地重建的生态工程范例研究[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 275 ~ 276.

[21] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000. 25 ~ 76.

[22] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法.[M]. (第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 90 ~ 510.