

梯级河滩湿地模型对受污染河水氮磷和 COD_{Cr} 的净化效果

郭萧^{1,2}, 叶许春³, 赵安娜², 柯凡², 李文朝^{2*}

1. 上海勘测设计研究院, 上海 200434; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008

3. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715

摘要: 在贾鲁河畔构建3组并联的梯级河滩湿地模型, 引种9种不同类型的湿地植物进行筛选试验, 将湿地模型串联运行比较研究3种不同植物配置的梯级湿地对受污染河水的净化效果, 在此基础上设定12 h和24 h等两组不同水力滞留时间, 研究延长滞留时间对水质净化效果的影响。试验结果表明: 对氮磷和有机物的去除效果挺水植物明显好于沉水植物, 其中茭草(*Zizania caduciflora*)、荆三棱(*Scirpus fluviatilis*)和狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)去除效果最好; 沉水植物和挺水植物对氨氮的去除表现好于浮叶植物; 延长水力滞留时间对改善水质净化效果明显, 滞留时间由12 h延长到24 h后, TN、TP、氨氮和COD_{Cr}去除率分别提高10.2%、21.7%、30.2%和12.9%, 对氨氮的净化效果改善最为明显; 挺水植物+沉水植物+浮叶植物组合较单纯挺水植物组合在对氨氮和TN去除效果方面表现出较明显的优势, 主要是由于不同类型湿地植物所营造的好氧、厌氧环境提高了对氨氮和TN去除效果。研究结果证明在湿地植被组建中, 根据进水水质, 应灵活选择植物种类, 进行合理的植物配置, 可提高湿地的净化效果。

关键词: 水生植物; 水力滞留时间; 植物配置

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 07-1710-05

贾鲁河地处中原腹地, 是淮河水系的二级支流, 具有鲜明的季节性河流特征, 河床宽度150~200 m, 流量为100 万t·d⁻¹。贾鲁河泄洪除涝能力尚未达标, 径流区内多发洪涝灾害, 随着经济的发展, 生活污水和工业废水排入河道导致河水污染严重, 急需进行整治。2008年郑州市水利局和中科院地理与湖泊研究所联合提出了贾鲁河半人工梯级河滩湿地方案, 该方案涉及郑州市内56 km河段, 利用河道两侧闲置河滩建设湿地, 该项目占地近700 hm², 技术思路新颖, 投资巨大, 旨在将贾鲁河泄洪除涝能力建设(水利工程)与贾鲁河梯级河滩湿地建设(生态工程)相结合, 实施综合整治, 以达到提高泄洪排涝等级和净化污染河水的双重目标。

湿地技术在河水净化中的作用已经得到初步研究, 其对污水的净化功能已经得到认证^[1-3], 湿地植物是湿地的重要因素, 其对污水净化效果各有不同^[4-6], 表面流人工湿地中植被类型较为丰富, 包括沉水、浮水、挺水等多种水生植被类型, 然而目前表面流人工湿地中主要以挺水植物为主^[7], 关于沉水植物和浮水植物型表面流人工湿地的研究与应用较少。由于不了解不同水生植物类型对于污染物净化效果的影响, 以及不同类型水生植被表面流人工湿地中污染物去除特征的差异, 故无法评价不同类型水生植物的净化特点, 以致影响湿地植物在实

际工程中的高效应用, 难以实现不同类型水生植被在表面流人工湿地中的联合应用与优化配置。基于以上科学问题的考虑, 项目组在贾鲁河畔构建湿地工程模型, 分别引种挺水植物、沉水植物和浮叶植物等类型共9种, 进行湿地植物筛选试验、不同湿地植物组合净化效果比较试验和不同水力滞留时间下净化效果试验, 旨在为今后的湿地植被建设提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 湿地模型设计

湿地模型构筑于贾鲁河河滩上, 砖混结构, 如图1所示, 单个池体长3 m, 宽1 m, 深0.6 m, 共9个, 池底铺设土工膜防渗, 膜上置河滩沙土0.3 m, 池体前设置布水沟保证进水均匀, 每个池体前后端设置穿孔管进出水, 并通过出水管将池体水深控制在0.3 m, 进水时各小池间穿孔管阀门开启, 三个小池为一组串联运行, 3组可并联运行, 进水后穿孔管阀门关闭则各小池可独立运行。

1.2 试验设计

1.2.1 植物筛选试验

供试湿地植物中当地植物有茭草(*Zizania caduciflora*)、狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)、荆三棱(*Scirpus fluviatilis*)、大茨藻(*Najas marina*)、轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)、水鳖(*Hydrocharis*

基金项目: 缺水地区污水厂尾水复合型湿地深度净化回用技术资助(2006AA06Z325)

作者简介: 郭萧(1979年生), 男, 博士, 研究方向为水环境生态修复及湿地技术。E-mail: guoxiaojiamu@163.com

通讯作者: 李文朝, E-mail: wchli@niglas.ac.cn

收稿日期: 2010-05-02

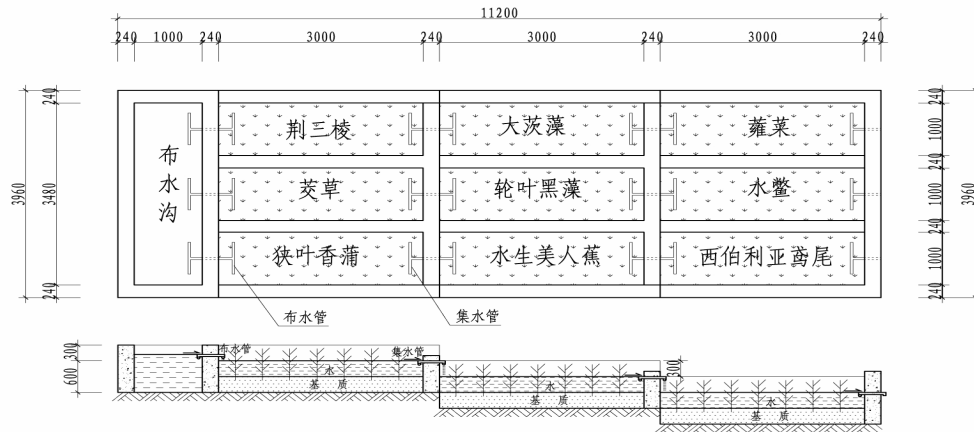


图1 湿地模型平面、剖面图

Fig.1 Plans and sections of wetland model

dubia) 和薹菜 (*Ipomoea aquatica*), 考虑到梯级河滩湿地的景观效果, 外地引种景观效果好的水生美人蕉 (*Canna glauca*) 和耐寒植物西伯利亚鸢尾 (*Iris sibirica*), 分种9个池中, 如图1所示, 其中挺水植物和浮叶植物种植密度均为10 棵·m⁻², 沉水植物密度为25 棵·m⁻², 于7月份植入, 经过2个月适应生长后所有植物均长势良好, 覆盖度基本达到100%。09年9月3日开始试验, 将贾鲁河原水分别引入各池中后, 并关闭各池间阀门, 保持各池独立和水深0.3 m, 隔数天采样监测水质变化, 到9月13号结束, 共持续12 d, 研究不同植物对河水净化能力的差异, 为将来湿地植被筛选净化能力强、生长旺盛且抗性好的植物。

1.2.2 不同水力负荷下表面流湿地处理效果试验

打开各池间阀门, 三个池子串联运行, 进水由布水沟和各小池之间的穿孔管均匀流入各池, 出水由尾端池排出, 构成狭叶香蒲+水生美人蕉+西伯利亚鸢尾、茭草+轮叶黑藻+水鳖和荆三棱+大茨藻+薹菜等三组并联试验, 设置12 h和24 h两组滞留时间, 以贾鲁河河水为原水, 进水水质如表1, 监测进出水水质变化, 研究不同植物组合在不同水力负荷下的水质净化能力。

表1 进水水质统计

Tab 1 Characteristic of the source water

pH	$\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
7.37±0.20	0.9±0.51	15.3±2.32	1.50±1.42	8.11±0.30	45.9±10.6

1.3 分析方法

水质分析指标有: TN、TP、NH₄⁺-N和COD_{Cr}等。监测分析方法: 水温和pH用METTLER TOLEDO的DELTA320pH计测定, COD_{Cr}用重铬酸钾法, NH₄⁺-N用纳氏试剂法、TN用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法、TP用过硫酸钾消解-钼锑

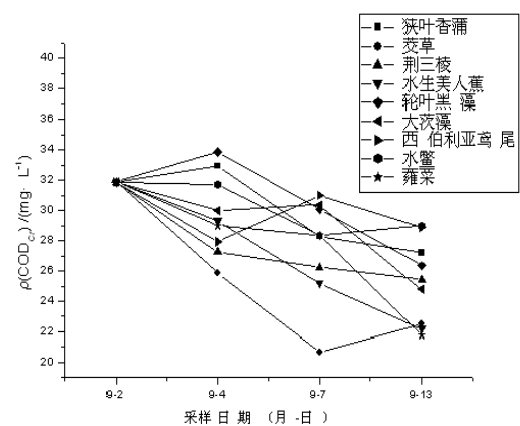
抗分光光度法^[8]。

2 结果与讨论

2.1 植物筛选试验

2.1.1 对 COD_{Cr} 去除效果的比较研究

水中COD_{Cr}的去除主要通过湿地植物水中枝叶和根系表面附着的微生物及土壤中的微生物的生物化学作用、土壤等物质的吸附及沉淀等作用去除。试验期间所选植物对COD_{Cr}的净化能力均较弱, 如图2所示, 所选9种植物对COD_{Cr}的净化效果差异较大, 净化效果较好的有茭草、美人蕉和薹菜, 去除率分别达到29%, 30%和32%, 水鳖和西伯利亚鸢尾最差, 去除率只有9%。

图2 水生植物对COD_{Cr}的去除效果Fig.2 The COD_{Cr} removal efficiency of aquatic plants

2.1.2 对 TN 去除效果的比较研究

试验期间所选植物对TN的去除效果均较好, 如图3所示, 挺水植物对TN的去除能力平均为87%, 明显好于沉水植物平均去除率60%, 挺水植物中去除效果较好的是茭草 (97%)、荆三棱 (94%) 和薹菜 (92%), 对TN去除效果较差的是轮叶黑藻 (54%)、大茨藻 (67%) 和水鳖 (69%)。

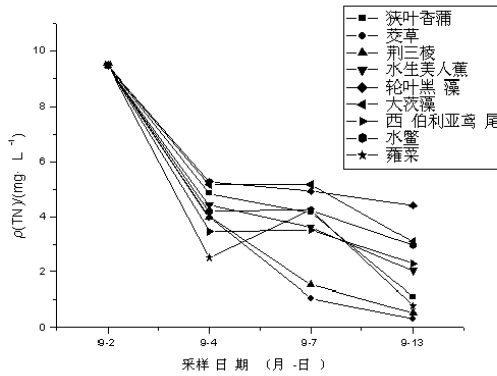


图 3 水生植物对 TN 的去除效果
Fig.3 The TN removal efficiency of aquatic plants

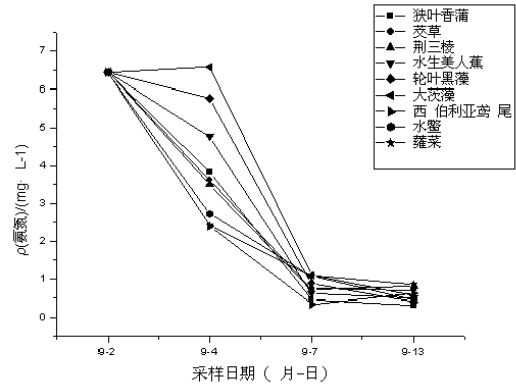


图 5 水生植物对 NH₄⁺-N 的去除效果
Fig.5 The NH₄⁺-N removal efficiency of aquatic plants

2.1.3 对 TP 去除效果的比较研究

研究表明人工湿地能够利用土壤、微生物、植物这个复合生态系统的物理、化学和生物的三重协调作用,通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物分解来实现对污水中磷元素的高效去除^[9]。所选植物对TP的去除效果均较好,且差异不大,如图4所示,均值为83%,去除效果最好为狭叶香蒲(87%),去除效果较差的为荆三棱和美人蕉(79%)。

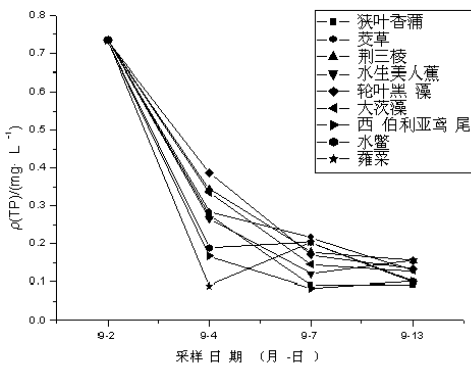


图 4 水生植物对 TP 的去除效果
Fig.4 TP removal efficiency of aquatic plants

2.1.4 对氨氮去除效果的比较研究

所选植物对氨氮都表现出较强的处理能力,如图5所示,其中去除效果较好的有沉水植物轮叶黑藻(94%)、大茨藻(91%)、狭叶香蒲(95%)和美人蕉(92%),较差的有菹菜(87%)、水鳖(88%)和西伯利亚鸢尾(86%)。其中沉水植物和挺水植物对氨氮的去除好于浮叶植物,原因分析为沉水植物自身放氧营造出好氧环境促进氨氮硝化,挺水植物也可通过大气复氧进行硝化反应,但浮叶植物茎叶浮于水面,阻断大气复氧,水体呈厌氧状态,故硝化反应受到抑制,影响了氨氮的去除效果。

2.2 不同水力停留时间湿地净化试验

植物筛选试验完成以后,打开各池间穿孔管阀门,三个池子串联运行,形成3组并联试验,进行不同水力负荷湿地净化效果试验,通过进水阀门设置12 h和24 h两组水力停留时间,9月15日—9月25日设置为12 h,9月27日—10月7日设置为24 h,不同水力负荷期间各采水样3次,各水质指标取3次试验结果平均值。

2.2.1 不同水力负荷湿地处理效果比较分析

两种水力停留时间下水质净化效果如图6所示,提高停留时间后水质净化效果明显提高,TN、TP、氨氮和COD_{Cr}去除率分别提高10.2%、21.7%、30.2%和12.9%,其中停留时间对氨氮的净化效果改善效果最为明显,证明延长停留时间可以提高湿地处理效果。

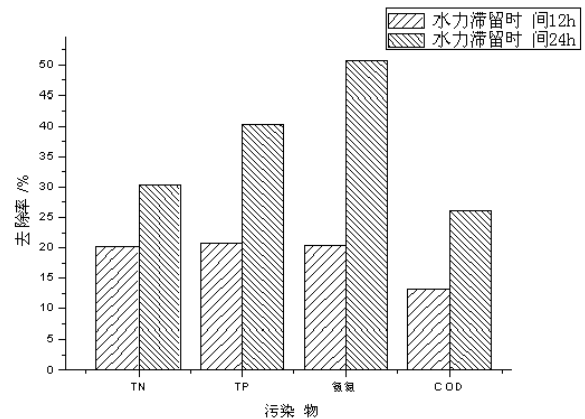


图 6 停留时间对湿地去除效果的影响
Fig.6 Removal efficiency of wetlands on HRT

2.2.2 不同植物组合对水质净化效果的比较分析

采用恢复水生高等植被,从氮循环的角度,通过硝化反硝化作用和植物吸收,促进氮素的循环和释放,是一条可供探索的途径^[10]。前人试验证明沉水植物+挺水植物的植物组合方式对污水净化能力强于单纯挺水植物组合^[11],但对净化机理研究不够深入。在上述不同水力负荷水质净化效果的基础

上, 本研究比较分析了不同植物组合水质净化效果的差异, 以期找出最佳的植物配置方式, 提高湿地净化能力。

三组池子串联运行形成后, 形成三种植物组合并联运行。狭叶香蒲+水生美人蕉+西伯利亚鸢尾组合为第一组植物组合, 所选植物均为挺水植物, 茭草+轮叶黑藻+水鳖为第二组植物组合, 荆三棱+大茨藻+薹菜等为第三组植物组合, 后2种组合的植物配置方式为挺水植物+沉水植物+浮叶植物, 试验结果如图7和图8所示。结果表明水力滞留时间12 h时各植物组合对水质处理效果相差不大, 水力负荷24 h时, 各植物组合对TP和COD_{Cr}的去除效果差异不大, 但对氨氮和TN的去除效果差异较大。第一组植物组合对氨氮和TN去除率为44%和25%, 第二组植物组合对氨氮和TN去除率为53%和31%, 第三组植物组合对氨氮和TN去除率为56%和35%, 表现为挺水植物+沉水植物+浮叶植物组合较单纯挺水植物组合在对氨氮和TN去除效果方面表现出较明显的优势。分析原因, 主要为后两种植物组合中段种植放氧能力强的沉水植物促进氨氮硝化, 后段种植株叶密集的浮叶植物营造厌氧环境以促进硝氮反硝

化作用, 最终增加了氮的净化效果。

3 结论

(1) 水生植物中挺水植物对氮磷和有机物的去除效果明显好于沉水植物, 其中茭草、荆三棱和狭叶香蒲表现较好。对氨氮的去除效果沉水植物和挺水植物要好于浮叶植物, 沉水植物植物放氧对改善水体DO浓度, 加快硝化反应速度等方面具有明显优势, 故在植物配置中可灵活运用, 合理搭配以取得最佳的处理效果。

(2) 延长水力滞留时间对水质净化效果影响明显, 在12 h和24 h两种水力滞留时间情况下, TN、TP、氨氮和COD_{Cr}去除率分别提高10.2%、21.7%、30.2%和12.9%, 氨氮的净化效果改善最为明显。

(3) 挺水植物+沉水植物+浮叶植物组合较单纯挺水植物组合在对氨氮和TN去除效果方面表现出较明显的优势, 证明湿地植被构建中采用合理的植物配置方式, 可提高湿地对氨氮和TN的净化效果。

参考文献:

- [1] 王超, 王沛芳, 唐劲松, 等. 河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 311-317.
WANG Chao, WANG Peifang, TANG Jinsong. The reduction properties of ammonia of red belt along the river[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 311-317.
- [2] 吴建强, 黄沈发, 阮小红, 等. 江苏新沂河河漫滩表面流人工湿地对污染河水的净化试验[J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 238-242.
WU Jianqiang, HUANG Shenfa, RUAN Xiaohong. Treatment of polluted river water using surface flow constructed wetlands in XinYi River Floodplain, Jiangsu Province[J]. Journal of lake Science, 2006, 18(3): 238-242.
- [3] 李睿华, 管运涛, 何苗, 等. 河岸芦苇、茭白和香蒲植物带处理受污染河水的中试研究[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 493-497.
LI Ruihua, GUAN Yuntao, HE Miao, et al. Pilot-scale study on riparian *Phragmites communis*, *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia*[J]. Environmental Science, 2006, 27(3): 493-497.
- [4] 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.
LIU Yang, WANG Shihe, HUANG Juan. Long-run research of two wetland effects[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(6): 1156-1159.
- [5] 刘春常, 安树青, 夏汉平, 等. 几种植物在生长过程中对人工湿地污水处理效果的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 860-865.
LIU Changchang, An Shuqing, Xia Hanping. Treatment effect of several plants in the growth process[J]. Ecology and Environment, 2007, 16(3): 860-865.
- [6] 孙光, 马永胜, 赵冉, 等. 不同植物人工湿地对污水的净化效果. 生态环境, 2008, 17(6): 2192-2194.
SUN Guang, Ma Yongsheng, Zhao Ran. Wastewater purification efficiency of different plant constructed wetlands[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2192-2194.
- [7] VYMAZAL J. Horizontal subsurface flow and hybrid constructed submerged plant bed for wastewater treatment[J]. Ecological Engineering, 2005, 25(5): 478-490.

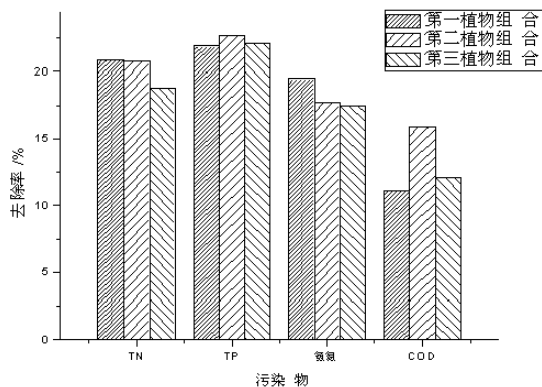


图7 滞留时间12h植物组合去污效果比较

Fig.7 Decontamination of different plant configurations on 12 h

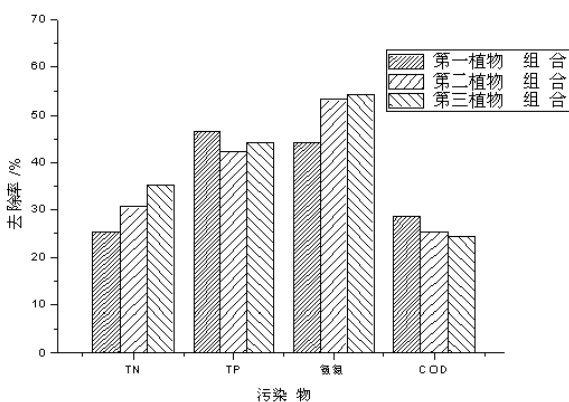


图8 滞留时间24h植物组合去污效果比较

Fig.8 Decontamination of different plant configurations on 24 h

- [8] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第4版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Environmental Protection Administration of State. Methods of the water and wastewater inspection and analysis[M]. 4th ed. Version. Beijing: China Environmental Press, 2002: 16-219.
- [9] 张军, 周琪, 何蓉. 表面流人工湿地中氮、磷的去除机理[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 98-101.
ZHANG Jun, ZHOU Qi, HE Rong. Mechanism of nitrogen and phosphorus removal in free-water surface constructed wetland[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(1): 98-101.
- [10] MITSCH W J, ZHANG L, AANDERSON C J, et al. Creating riverine wetlands: Ecological succession, nutrient retention, and pulsing effects[J]. Ecological Engineering, 2005, 25: 510-527.
- [11] 李睿华, 管运涛, 何苗, 等. 河岸混合植物带处理受污染河水中试研究[J]. 环境科学, 2006, 2(4): 651-654.
LI Ruihua, GUAN Yuntao, HE Miao. Pilot-scale study on riparian mixed plant zones treating polluted river water[J]. Environmental Science, 2006, 2(4): 651-654.

Purification effect of N、P and COD_{Cr} of cascaded surface flow wetland model on polluted river water

GUO Xiao^{1,2}, YE Xuchun³, ZHAO Anna², KE Fan², LI Wenchao^{2*}

1. Shanghai Investigation Design & Research Institute, Shanghai 200434, China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Nanjing 210008, China;

3. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: A model of cascaded surface flow wetlands was constructed in the Jialu River floodplain to assess the removal efficiency of various aquatic plants with different hydraulic loading rates. Our results indicated that for the removal of nitrogen, phosphorus and organic matter, the emergent plants such as *Zizania caduciflora*, *Scirpus fluviatilis* and *Typha angustifolia* were better than the submerged plants. Submerged plants and emergent plants are better than the floating-leaved plants on the removal of ammonia nitrogen. Increases in hydraulic retention time led to the improvements of water quality. Removal rates of total nitrogen, total phosphorus, ammonia and COD_{Cr} increased by 10.2%、21.7%、30.2% and 12.9%, respectively, when hydraulic retention time increased from 12 h to 24 h. Wetlands grown with a combination of submerged, emergent and floating-leaved plants show significantly higher removal rates of nutrients, especially total nitrogen and ammonia nitrogen, than the wetlands grown with emergent plants only. This study demonstrated that wetland design with different combinations of aquatic plants can ultimately improve the effectiveness of nitrogen removal.

Key words: aquatic plants; hydraulic retention time; species composition